

universo foi desenvolvido nos últimos centos, e isso só foi possível por-
é necessário estabelecer alguns fundamentos. O modelo do Big Bang para o
Mais, antes de abordarmos os primeiros indícios do modelo do Big Bang,

quebrar nos conceitos-chave dos meandros da teoria.

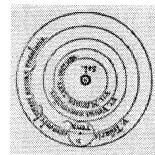
em termos que farão sentido para não-espacialistas sem que precisem mer-
maioria das pessoas inteligentes, o modelo do Big Bang pode ser explicado
Charles Darwin é ao mesmo tempo fundamental e compreensível para a
eu já aprendida no colégio. Extremamente como a teoria da seleção natural de
baseado em princípios que, em sua maior parte, não iam além da física que
cento, ficou admirado com sua beleza e simplicidade, e pelo fato de ser
tendido por todos. Quando tentei conhecimento do Big Bang, ainda adole-
-E, o que é ainda mais maravilhoso, o modelo do Big Bang pode ser en-

bulosa, da observação aguçada e de uma lógica implacável.

Trata-se do resultado de uma curiosidade insaciável, de uma imaginação fa-
torma numa das maiores realizações do espírito e do intelecto humanos.
elegante para a origem de tudo o que vemos no céu noturno, o que o trans-
universo. O modelo do Big Bang (Grande Explosão) oferece uma explicação
uma descrição coerente, racional e respeitável para a criação e a evolução do
mas nos temos o privilégio de fazer parte da primeira geração que alega ter
Os seres humanos vêm observando o espaço há milhares de gerações,

especular sobre a origem desse vasto universo.

em especial, existe uma forma de vida que tem a capacidade de a audácia de
mas é certo que, em pelo menos um deles, a vida evoluiu. E,
treias. Não é clara quantos planetas orbitam essas estrelas,
xias e cada uma contém aproximadamente 100 bilhões de es-
Nossa universo é pontilhado com mais de 100 bilhões de galá-



que as descobertas do século XX se ergueram sobre os alicerces de uma astronomia desenvolvida nos séculos anteriores. Por sua vez, essas teorias e observações do céu foram realizadas em uma estrutura científica montada continuamente durante dois milênios. Recuando ainda mais, o método científico, como um caminho em direção a uma verdade objetiva a respeito do mundo natural, só pôde surgir quando o papel dos mitos e do folclore começou a declinar. Em resumo, as raízes do modelo do Big Bang e a busca de uma teoria científica para o universo têm suas origens no declínio da visão mitológica ancestral do mundo.

De criadores gigantes aos filósofos gregos

De acordo com um mito chinês da criação datado de 600 a.C., Phan Ku, o Criador Gigante, saiu de um ovo e começou a criar o mundo usando um cinzel para esculpir os vales e montanhas da paisagem. Em seguida ele colocou o Sol, a Lua e as estrelas no céu e morreu assim que essas tarefas tinham terminado. A morte do Criador Gigante era uma parte essencial do processo de criação, porque os fragmentos de seu próprio corpo ajudaram a completar o mundo. O crânio de Phan Ku formou a abóbada celeste, sua carne deu origem ao solo, seus ossos se transformaram nas rochas e seu sangue criou os rios e mares. Seu último suspiro produziu o vento e as nuvens, enquanto seu suor transformava-se na chuva. Seu cabelo caiu na Terra, criando a vida vegetal, e os piolhos escondidos em seus cabelos forneceram a base para a raça humana. E, como o nosso nascimento exigiu a morte de nosso criador, fomos amaldiçoados com a tristeza eterna.

Em contraste, no mito épico *Prose Edda*, da Islândia, a criação começou não com um ovo e sim com a Fenda Aberta. Esse vazio separou os reinos contrastantes de Muspell e Niflheim, até que um dia o calor brilhante e intenso de Muspell derreteu a neve congelante e o gelo de Niflheim, e a umidade caiu na Fenda Aberta, produzindo a vida na forma do gigante Imir. Só então a criação do mundo pôde começar.

O povo krachi, de Togo, no oeste da África, fala de outro gigante, o imenso deus azul Wulbari, mais conhecido entre nós como o céu. Houve um

tempo em que ele se deitava logo a grãos com um longo pau o cutucava acima deste incômodo. Contudo, V nos, que usavam sua barriga como seu corpo azul para temperarem a vez mais alto, até que o céu azul desde então.

Para os iorubá, também da África. Quando ele olhou para baixo, par divino que levasse uma concha de c continha um pombo, uma galinha solo foi salpicado sobre os pântanos começaram a ciscar até que o pântano mundo, Olorum enviou o Camaleão enquanto ia do céu até a terra, sinal completado com sucesso a sua tare

No mundo inteiro, cada cultura origem do universo e como ele foi bastante, cada um refletindo o ambiente Islândia, são as forças vulcânicas e para o nascimento do Imir. Mas, de no, são a galinha e o pombo familia obstante, todos esses mitos da criação. Seja Wulbari, grande, azul e machucados, esses mitos inevitavelmente invocam desempenhar um papel crucial na mesma forma, cada mito representa dade. A palavra “mito” vem do grego mas também significa “palavra” no sentido quer um que se atrevesse a questionar as suas ações de heresia.

Nada mudou muito até o século de tolerância nos meios intelectuais livres para abandonar as explicações

Nada mudou muito ate o seculo VI a.C., quando houve um subto surto de tolerancia nos meios intelectuais. Pela primeira vez os filósofos ficaram livres para abandonar as explicações mitológicas aceitas para o universo e

No mundo intelecto, cada cultura desenvolvem seus próprios mitos sobre a origem do universo e como ele foi formado. Esses mitos da criação diferembastante, cada um refletindo o ambiente e a sociedade onde se originou. Na Islândia, são as forças vulcânicas e meteorológicas que formam o cenário para o nascimento do Límit. Mais, de acordo com os iorubás, do oeste africano, o nascimento do Límit. Mais, de acordo com os iorubás, do oeste africano, são a galinha e o pombo famílias que dão origem à terra solidia. Não obstante, todos esses mitos da criação têm algumas características comuns. Seja Wuilbari, grande, azul e machucado, ou o gigante mortibundo da China, esses mitos inevitavelmente invocam pelo menos um ser sobrenatural para desempenhar um papel crucial na criação do universo. Da mesma forma, cada mito representa a verdade absoluta dentro de sua sociedade. A palavra "mito" vem do grego *mythos*, que pode significar "estória", mas também significa "palavra" no sentido de "palavra final". De fato, qualquer um que se atrevesse a questionar essas explicações estrita sujeito a acusação de heresia.

tempo em que ele se deitava logo acima da Terra, mas uma mulher socando grãos com um longo pau o cutucava e espetava de modo que ele se erguera acima desse incomodo. Contudo, Wulbari permanecia ao alcance dos humanos, que usavam sua bariga como uma toalha e arrancavam fragmentos de seu corpo azul para temperarem a sopa. Gradualmente, Wulbari subiu cada vez mais alto, ate que o céu azul ficou fora de alcance, e lá permaneceu desde então.

da África, fala de outro gigante, o doente que nos como o gêu. Houve um

adddaa, da Islandia, a criagão começou
deberia. Esse vazio separou os reinos
até que um dia o calor brilhante e
engelante e o gelo de Niflheim, e a
úna vida na forma do gigante Lmir.

ao datrado de 600 a.C., Phan Ku, o negou a criar o mundo usando um s da paisagem. Em seguida ele colo- correra assim que essas terefas tinham era uma parte essencial do processo! proprio corpo ajudaram a completar a abóbada celeste, sua carne deu nou a rocha e seu sangue criou os rama nas rochas e seu sangue criou os u o vento e as nuvens, enquanto seu belo caiu na Terra, criando a vida a cabulos formecaram a base para as exigiu a morte de nosso criador,

dos filósofos gregos

desenvolverem suas próprias teorias. Anaximandro, de Mileto, por exemplo, argumentava que o Sol era um buraco num anel cheio de fogo que circundava a Terra e girava em torno dela. De modo semelhante, ele acreditava que a Lua e as estrelas nada mais eram do que buracos no firmamento, revelando fogos de outro modo escondidos. De modo contrário, Xenófanes de Colofon acreditava que a Terra liberava gases combustíveis que se acumulavam durante a noite até atingirem uma massa crítica, quando então se incendiavam produzindo o Sol. A noite caía novamente quando a bola de gás queimara todo o seu combustível, deixando para trás apenas as poucas centelhas que chamamos de estrelas. Ele explicava a Lua de modo semelhante, com gases se acumulando e queimando num ciclo de 28 dias.

O fato de Xenófanes e Anaximandro não estarem perto da verdade não tem importância, porque o principal é que eles desenvolviam teorias que explicavam o mundo natural sem recorrer a deuses ou artefatos sobrenaturais. Teorias dizendo que o Sol é um fogo celeste visto através de um buraco no firmamento ou uma bola de gás se queimando eram qualitativamente diferentes do mito grego que explicava o Sol invocando uma carruagem dirigida através do céu pelo deus Hélio. Isso não quer dizer que a nova geração de filósofos quisesse necessariamente negar a existência dos deuses. Eles apenas se recusavam a acreditar que a interferência divina fosse responsável pelos fenômenos naturais.

Esses filósofos foram os primeiros *cosmólogos*, na medida em que estavam interessados no estudo científico do universo físico e de suas origens. A palavra “cosmologia” deriva da antiga palavra grega *kosmeo*, que significa “ordenar” ou “organizar”, refletindo a crença de que o universo pode ser entendido e merece um estudo analítico. O cosmos apresentava padrões, e era ambição dos gregos reconhecer esses padrões, esmiuçá-los e compreender o que havia por trás deles.

Seria um grande exagero chamar Xenófanes e Anaximandro de cientistas no sentido moderno do termo, e seria lisonjeiro considerar suas idéias como teorias científicas plenamente desenvolvidas. Não obstante, eles certamente contribuíram para o nascimento do pensamento científico, e seu *ethos* tinha muito em comum com a ciência moderna. Tal como as idéias na ciência moderna, por exemplo, as idéias dos cosmólogos gregos podiam ser

criticadas e comparadas, melhorando uma boa discussão e assim a co-autoria questionava o raciocínio subjacente. Em contraste, os indivíduos questionavam a própria mitologia e sua própria sociedade.

Pitágoras de Samos ajudou o racionalismo por volta do ano de 530 a.C. quando desenvolveu uma paixão pela matemática. As equações podiam ser usadas para explicar a harmonia dos números. Uma de suas primeiras conquistas foi a descoberta da harmonia dos números. O instrumento antigo era o tetracórdio ou lira. Sua teoria fazendo experiências sob tensão constante, mas seu comprimento da corda produziu uma nota que era uma oitava acima da corda original. De fato, mudar a razão simples ou proporção, criava (Por exemplo, uma proporção de 3:2 produz a oitava acima da nota original). Mas, se o comprimento fosse multiplicado por 15:37, o resultado seria a terceira acima da nota original.

Já que Pitágoras tinha mostrado que a razão entre as notas era a razão entre os comprimentos das cordas, ele usou os números para explorar a razão entre as distâncias entre os planetas. Ele descobriu que a razão entre a distância da Terra ao Sol e a distância da Terra à Lua era de 10:3. Ele também descobriu que a razão entre a distância da Terra ao Sol e a distância da Terra à Marte era de 10:7. Ele usou essas razões para explicar a razão entre as distâncias entre os planetas. Ele também descobriu que a razão entre a distância da Terra ao Sol e a distância da Terra à Marte era de 10:7. Ele usou essas razões para explicar a razão entre as distâncias entre os planetas.

O mantra de Pitágoras era “Irmãos, ele tentou descobrir as regras do universo. Ele afirmava que os movimentos do céu geravam notas musicais especiais. Ele descobriu que a razão entre as distâncias entre os planetas era de 10:7. Ele usou essas razões para explicar a razão entre as distâncias entre os planetas. Ele também descobriu que a razão entre a distância da Terra ao Sol e a distância da Terra à Marte era de 10:7. Ele usou essas razões para explicar a razão entre as distâncias entre os planetas.

O mantra de Pitágoras era, “tudo é número”. Alimentado por essa crença, Ele tentou descobrir as regras matemáticas que regeriam os corpos celestes. Ele afirmava que os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas atavés do céu geravam notas musicais especiais, que seriam determinadas pelo comprimento das cordas vibrantes.

Ja que Pitágoras tinha mostrado que a matemática podia ser usada para ajudar a explicar e descrever a música, gerações subsequentes de cientistas usaram os números para explorar todo tipo de coisas, da trajetória de uma balão de canhão aos padrões cíclicos do clima. Wilhelm Röntgen, que desco- briu os raios X em 1895, era um fiel adepto da filosofia pitagórica da ciência matemática e certa vez declarou: "Ao se preparar para o seu trabalho, o físico precisa de três coisas: matemática, matemática e matemática".

Pitágoras de Samos ajudou a consolidar os fundamentos desse novo racionalismo por volta do ano 540 a.C. Como parte de sua filosofia ele desenvolveu uma paixão pela matemática e demonstrou como os números e as equações podiam ser usados para ajudar a formular teorias científicas. Uma de suas primeiras conquistas foi explicar a harmonia da música através da harmonia dos números. O instrumento mais importante na música helenica antigua era o terracórdio ou lira de quatro cordas, mas Pitágoras desenvolveu sua teoria fazendo experiências com um monocórdio. A corda era mantida sob tensão constante, mas seu comprimento podia ser alterado. Um certo comprimento da corda produzia uma determinada nota, e Pitágoras percebeu que dividindo pela metade o comprimento podia ser alterado. Um certo comprimento da corda produzia uma nota que era uma oitava mais alta e em harmonia com a nota da corda original. De fato, mudando o comprimento da mesma corda, ela produzia uma nota que era uma oitava mais alta e em harmonia com a nota da corda original. Por exemplo, criava-se uma nota harmônica com a primeira fração simples ou proporcão, chamada de quinta musical.

Mas, se o comprimento fosse mudado numa proporção aleatória (por exemplo, 15:37), o resultado seria a dessonância.

chicadas e comfaradas, memoriadas ou abandonadas. Os gregos adoravam uma boa discussão e assim a comunidade dos filósofos examinava as teorias, questionava o raciocínio subjacente e finalmente escolhia a mais convincente. Em contraste, os individuos de muitas outras culturas não se arreiam a questões, os indíviduos de muitas outras culturas era um ato de fé dentro de sua própria sociedade.

que nascem perito da verade nasc
que elles desenvolviam teorias que
rer a deuses ou artefatos sobrenatu-
o celeste visto atraves de um buraco
que imando eram qualitativamente
o Sol invocando uma carrruagem
o. Isso náo quere dizer que a nova
mente negar a existencia dos deuses.
e a interferencia divina fosse respon-
osmologos, na medida em que esta-
uniuerso fisico e de suas origens. A
palavra grega *Kosmeo*, que significa
crenja de que o universo pode ser
O. O cosmos apresentava padroes, e
s padroes, esmigá-los e comprehen-
d. A interferencia divina fosse respon-
s padroes, esmigá-los e comprehen-
e Anaximandro de cientes-
enofanes e
erria lisogniero considerar suas ideias
envolvidas. Náo obstante, elles cetera-
do pensamento cientifico, e seu ethos
noderma. Tal como as ideias na cien-
jos cosmologos gregos podiam ser

maximandri, de ministro, por exemplo, num anel cheio de fogos que la. De modo semelhante, ele acredita. De modo contrário, Xenofanes dos. De modo buracos no firmamento, am do que buracos no firmamento, va gaseses combustíveis que se acumulam massa crítica, quando entao se cava novamente quando a bola de bilianando para trás apenaas as poucas explicava a Lula de modo semelhante. ou um ciclo de 28 dias.

mento de suas órbitas. E a partir daí Pitágoras concluiu que essas órbitas e notas teriam proporções numéricas específicas para que o universo permanesse em harmonia. Isso se tornou uma teoria popular em sua época. Podemos reexaminá-la a partir de uma perspectiva moderna e ver como ela enfrenta os rigores do método científico atual. Do lado positivo, a afirmação de Pitágoras de que o universo estava repleto de música não depende de nenhuma força sobrenatural. Sua teoria também é bem simples e muito concisa, duas qualidades muito valorizadas na ciência. De modo geral, uma teoria apoiada em uma única equação, curta e bonita, é preferível a outra teoria que depende de várias equações feias e imprecisas, cheias de parênteses complicados e espúrios. Como disse o físico Berndt Matthias: “Se você vir uma fórmula na revista *Physical Review* que ocupe um quarto de página, pode esquecê-la. Está errada. A Natureza não é tão complicada”. Entretanto, a simplicidade e a concisão são secundárias diante da característica mais importante de qualquer teoria científica: ela deve corresponder à realidade e estar aberta à verificação. E é aí que a teoria da música celeste fracassa completamente. De acordo com Pitágoras, somos constantemente envolvidos por essa música celestial, mas não podemos percebê-la porque a ouvimos desde que nascemos e ficamos acostumados com ela. Para concluir, qualquer teoria que prevê uma música que nunca pode ser ouvida ou qualquer coisa que jamais poderá ser detectada é uma teoria científica muito pobre.

Toda teoria científica verdadeira precisa fazer uma previsão sobre o universo que possa ser observada ou medida. Se os resultados de uma experiência ou observação corresponderem à previsão teórica, teremos um bom motivo para que a teoria se torne aceita e seja incorporada à estrutura maior da ciência. Por outro lado, se a previsão teórica for imprecisa e entrar em conflito com a experiência ou a observação, então a teoria deve ser rejeitada, ou pelo menos modificada, a despeito de suas qualidades no que se refere à beleza ou à simplicidade. Esse é o desafio supremo, um desafio brutal, mas toda teoria científica deve poder ser testada e ser compatível com a realidade. No século XIX, o naturalista Thomas Huxley disse que “a grande tragédia da ciência é a morte de uma bela hipótese diante de uma feia realidade”.

Felizmente os seguidores de Pitágoras ampliaram suas idéias e aperfeiçoaram sua metodologia. Aos poucos, a ciência foi se tornando uma discipli-

na sofisticada e poderosa, capaz de captar os verdadeiros diámetros que os separam. Essas medições representando os primeiros passos de todo o universo. Por isso tais

Antes que qualquer distâncias, os antigos gregos já tinham noção ganhou ampla aceitação e familiarizavam com a noção de horizonte até que apenas a perspectiva se a superfície do mar se tornava visível. Se o mar tinha uma superfície e também a teria, o que significava reforçada pela observação dos efeitos da sombra em forma de disco sobre um objeto esférico. De significava ver que a própria Lua era natural, o que acrescentava maior credibilidade. Tudo começava a fazer sentido, como o grego Heródoto, que falava durante metade de um ano. Se a Lua fosse um disco, os céus seriam iluminados de dia e de noite, o que naturalmente dava o dia e a noite de seis meses.

Mas uma Terra esférica dava a impressão de que as crianças hoje em dia. O que é que “se desprendam” e caiam? A sociedade grega tinha a crença de que o universo tinha um centro. O centro da Terra supostamente hipotético, assim a Terra era estabelecida em direção ao centro. Portanto, essa força, assim como tudo o mais.

A façanha de medir o tamanho da Terra é atribuída a Eratostenes, que nasceu em 276 a.C.

Mas uma Terra esférica dava origem a uma pergunta que ainda incomoda: “se desprendam” e caiam? A solução grega para esse enigma baseava-se na crença de que o universo tinha um centro e tudo seria arranjoado para este centro. O centro da Terra supostamente coincidiria com o centro universal hipotético, assim a Terra era estatística e tudo sobre sua superfície se iria para dentro. O centro da Terra era supostamente o centro universal do em direção ao centro. Portanto, os gregos ficariam presos ao chão por essa força, assim como tudo o mais no mundo, mesmo se vivesse lá embalado. A fagana de medir o tamanho da Terra foi realizada em primeiro lugar por Eratostenes, que nasceu em 276 a.C., em Cirene, na atual Líbia. Mesmo

na softiscaada e poderosa, capaz de realizações impressionantes, como a medida dos verdaeiros diámetros do Sol, da Lua e da Terra e das distâncias que os separam. Essas medidas formam marcos na história da astronomia, representando os primeiros passos vacilantes na estrada para a compreensão de todo o universo. Por isso raias medidas merecem ser descritas em detalhes. Antes que qualquer distância celeste ou tamanha pudesse ser calculada, os antigos gregos já tinham determinado que a Terra é uma esfera. Talvez a familiavam com a noção de que os navios desaparecem gradualmente no horizonte até que apenas a ponta do mastro pode ser vista. E isso só fazia se o mar tinha uma superfície curva, então, presumivelmente, a Terra também era esférica. De significado semelhante era o fato de que todos podem observar a Lua era redonda, sugerindo que a esfera é a forma natural, o que acrescentava mais有信心 a hipótese de uma Terra redonda. Tudo como gava a fazer sentido, incluindo os escritos de historiadores gregos Herodoto, que falava de pessoas no extremo norte que dormiam durante metade de um ano. Se a Terra fosse esférica, então partes diferentes do globo seriam iluminadas de modo diferente, de acordo com suas latitudes, o que naturalmente dava origem ao inverno polar e às noites que duram seis meses.

quando ainda era um menino parecia evidente que Eratóstenes tinha uma mente brilhante, que podia se voltar para qualquer disciplina, da poesia à geografia. Ele até mesmo recebeu o apelido de Pentatlos, o que significa um atleta que participa das cinco competições do pentatlo, numa sugestão da amplitude de seus talentos. Eratóstenes passou muito tempo como bibliotecário-chefe em Alexandria, o posto acadêmico de maior prestígio no mundo antigo. A cosmopolita Alexandria tinha tomado o lugar de Atenas como centro intelectual do Mediterrâneo, e a biblioteca da cidade era a instituição de ensino mais respeitada no mundo. Esqueça qualquer imagem de bibliotecários burocráticos, carimbando livros e sussurrando uns com os outros, porque aquele era um lugar vibrante e excitante, cheio de estudiosos inspiradores e estudantes empolgados.

Na biblioteca, Eratóstenes ficou sabendo da existência de um poço com notáveis propriedades, situado perto da cidade de Siena, no sul do Egito, perto da atual Assuã. A cada ano, ao meio-dia de 21 de junho, o dia do solstício de verão, o Sol brilhava diretamente dentro do poço e iluminava tudo até o fundo. Eratóstenes percebeu que, naquele dia em especial, o Sol deveria estar diretamente acima, algo que nunca acontecia em Alexandria, que ficava a várias centenas de quilômetros ao norte de Siena. Hoje sabemos que Siena fica perto do Trópico de Câncer, a latitude mais ao norte em que o Sol pode aparecer bem no zênite.

Ciente de que a curvatura da Terra era o motivo de o Sol não brilhar do mesmo modo acima de Siena e Alexandria ao mesmo tempo, Eratóstenes imaginou se não poderia usar isso para medir a circunferência da Terra. Ele não pensou no problema do mesmo modo como pensaríamos, já que sua interpretação da geometria e sua notação eram diferentes, mas aqui está uma explicação moderna de sua abordagem. A figura 1 mostra como os raios paralelos da luz do Sol atingiam a Terra ao meio-dia de 21 de junho. No mesmo momento em que a luz do Sol mergulhava verticalmente no fundo do poço em Siena, Eratóstenes fincou uma vareta verticalmente no solo de Alexandria e mediu o ângulo entre a vareta e os raios do Sol. E o que é crucial para o problema é que este ângulo equivale ao ângulo entre duas linhas radiais traçadas de Alexandria e Siena até o centro da Terra. Ele mediou o ângulo como sendo de $7,2^\circ$.

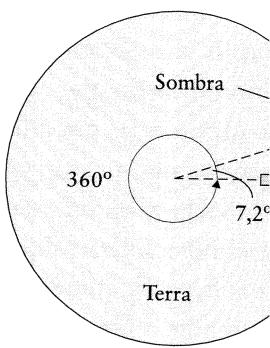


Figura 1 Eratóstenes usou a sombra para calcular a circunferência da Terra. Ele viu que a cidade de Alexandria ficava mais perto do Sol do que a de Câncer. As cidades ficaram mais perto do Sol. Por motivo de não terem escala. Ele gerados.

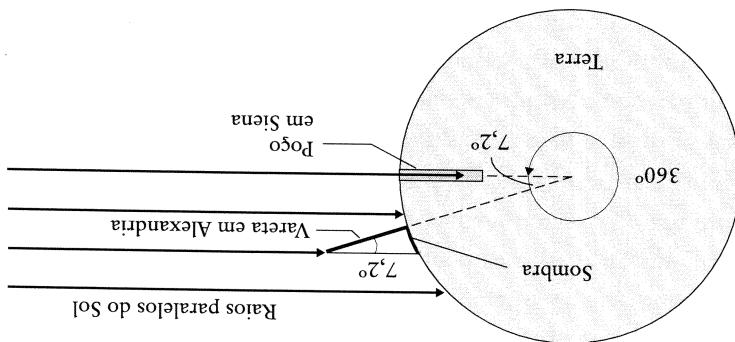
Agora imagine alguém em São Paulo, até Alexandria, e depois continua para Siena. Ao dar uma volta completa ao redor da Terra, o círculo completo cobrindo 360° é de apenas $7,2^\circ$, então a distância percorrida é de 360 ou $1/50$ da circunferência. Eratóstenes mediou a distância entre Alexandria e Siena, que é de 500 quilômetros. Se isso representa $1/50$ da circunferência total, a distância total deve ser de 250.000 quilômetros.

Mas você deve estar se perguntando: se o estadio era a distância-padrão entre os arcos olímpicos media 185 metros, o que aconteceria se a Terra ficaria em 46.250 quilômetros de raio? O valor verdadeiro de 40.100 quilômetros é mais preciso. O estadio egípcio era de 157 metros, o que nos dá uma precisão de 2%.

Mas voce deve estar se perguntaando quanto é 250.000 estádios. Um estádio era a distância-padrão em que eram disputadas as corridas. O estádio olímpico era a distância-padrão em que eram disputadas as corridas. O estádio olímpico medía 185 metros, então a estimativa da circunferência da Terra ficaria em 46.250 quilômetros, que é apenas 15% maior do que o valor verdadeiro de 40.100 quilômetros. E é rotostenes pode ate ter sido mais preciso. O estádio egípcio era diferente do estádio olímpico e equivalia a 157 metros, o que nos dá uma circunferência de 39.250 quilômetros e uma precisão de 2%.

Agora imagine alegre em Sienna que decida caminhar numa linda reta ate Alexandria, e depois continua andando ate dar a volta ao mundo e retornar a Sienna. Ao dar uma volta completa em torno da Terra, ela descreveria um circulo completo cobrindo 360°. Assim, se o angulo entre Sienna e Alexandria e de apenes 72°, entao a distancia entre Sienna e Alexandria representa 7/2, 360 ou 1/50 da circunferencia da Terra. O resto do calculo e simples. Eratostenes mediu a distancia entre as duas cidades, que se revelou de 5.000 estadios. Se isso representava 1/50 da circunferencia da Terra entao a circunfe-

Figura 1 retratou os usuários de sombra projetada por uma varanda, em Alexandria, para calcular a circunferência da Terra. Realizou a experiência no solstício do verão, quando a Terra se encontra em sua inclinação máxima em relação ao sol. Isso significa que o Sol fica diretamente acima das cidades ao meio-dia. Por motivo de claridade, as distâncias neste e nos outros diagramas são desenhadas em escala. De modo semelhante, os ângulos podem estar exagerados.



21 NO PRINCIPIO

Se a precisão foi de 2% ou de 15%, é irrelevante. O importante é que Eratóstenes tinha desenvolvido um meio de medir cientificamente o tamanho da Terra. Qualquer imprecisão era mero resultado de uma medida imprecisa de ângulo, um erro na distância Siena-Alexandria, um ajustamento do meio-dia no solstício e o fato de que Alexandria não ficava exatamente ao norte de Siena. Antes de Eratóstenes, ninguém sabia se a circunferência era de 4.000 ou 4.000.000.000 de quilômetros, de modo que determiná-la como sendo de aproximadamente 40.000 quilômetros foi uma grande conquista. Ela provou que tudo o que era necessário para medir o planeta era um homem com uma vareta e um cérebro. Em outras palavras, junte um intelecto com alguns equipamentos experimentais e pode-se conseguir quase tudo.

Agora Eratóstenes podia deduzir o tamanho da Lua e do Sol, e calcular suas distâncias da Terra. Muito do trabalho básico tinha sido feito por filósofos anteriores, mas seus cálculos estavam incompletos à espera de que o tamanho da Terra fosse determinado. E agora Eratóstenes tinha o valor que faltava. Por exemplo, comparando-se o tamanho da sombra projetada pela Terra sobre a Lua, durante um eclipse lunar, como mostrado na figura 2, fora possível deduzir que o diâmetro da Lua era cerca de um quarto do da Terra. Já que Eratóstenes havia demonstrado que a circunferência da Terra media 40.000 quilômetros, então este diâmetro é aproximadamente $(40.000 \div \pi)$ km, em torno de 12.700 km. Portanto, o diâmetro da Lua é $(1/4 \times 12.700)$ km, que nos dá aproximadamente 3.200 km.

Foi fácil para Eratóstenes calcular então a distância até a Lua. Um método seria olhar para a Lua cheia, fechar um dos olhos e estender o braço. Se fizer isso, vai notar que pode tapar a Lua com a ponta de seu dedo indicador. A Figura 3 mostra que sua unha forma um triângulo com seu olho. A Lua forma um triângulo semelhante, imensamente maior mas com proporções idênticas. A proporção entre o comprimento de seu braço e a altura de sua unha, que é cerca de 100:1, deve ser a mesma que existe entre a distância da Lua e o seu diâmetro. Isso significa que a distância até a Lua deve ser aproximadamente cem vezes maior do que o seu diâmetro, o que nos dá uma distância de 320.000 km.

Em seguida, graças a uma hipótese de Anaxágoras de Clazômenas e um argumento inteligente de Aristarco de Samos, foi possível para Eratóstenes

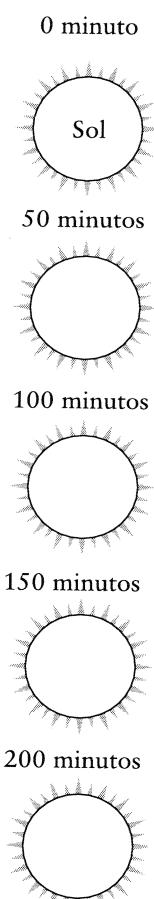
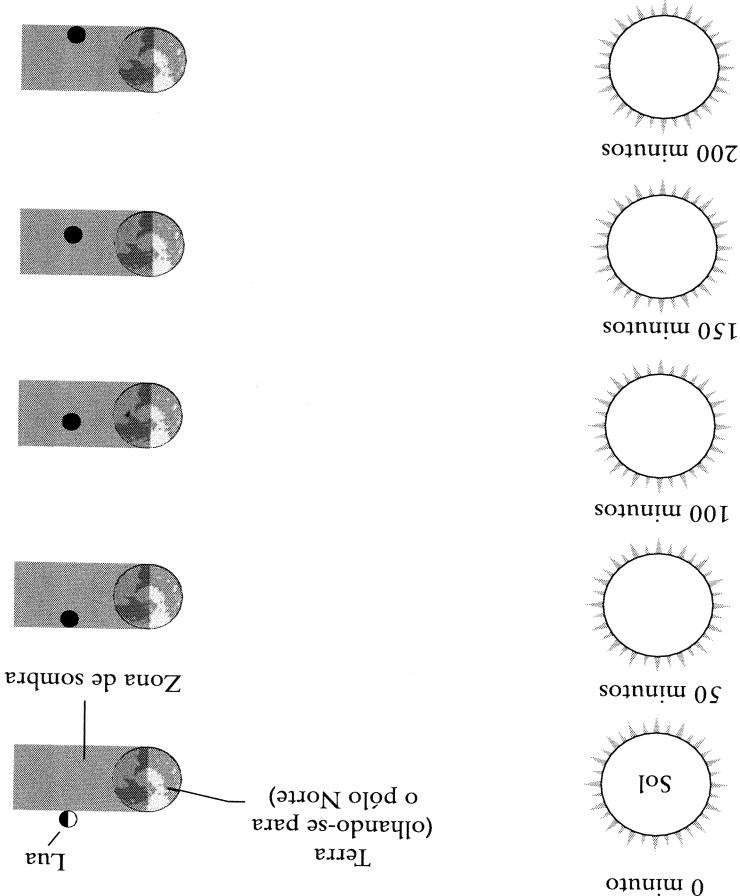


Figura 2 Os tamanhos relativos da Terra e da Lua durante a passagem da Lua através da sombra da Terra. Quando a Lua está bem distante do Sol, seu diâmetro é menor que o da Terra. Quando a Lua toca a sombra da Terra — ou seja, quando a Terra se encontra entre o Sol e a Lua —, a sombra da Terra é maior que o diâmetro da Terra. Quando a Lua cruza a sombra da Terra, a sombra é maior que o diâmetro da Terra. O diâmetro da Terra é quatro vezes o diâmetro da Lua.

O diagrama mostra a Lua passando por uma sombra da Terra. Em particular — quando a Lua passa aparentemente entre o Sol e a Terra —, estima-se que transcorram 250 minutos para que a Lua toque a sombra da Terra até que fique completamente dentro dela. A sombra da Terra é maior que o diâmetro da Terra. A sombra é maior que o diâmetro da Terra. O diâmetro da Terra é quatro vezes o diâmetro da Lua.

quatro vezes o diâmetro da Lua. Indicado do diâmetro da Terra. O diâmetro da Terra é, portanto, aproximadamente igual ao diâmetro da Lua cruzando a sombra da Terra e dezenas minutos, o que é uma indicação do próprio diâmetro da Lua. E o tempo necessário para que a parte frontal da Lua entre que figure completamente coberta, assim cinqüenta minutos é uma indicação a sombra que transcorre cinqüenta minutos entre o centro da sombra da Lua toca a sombra que é de trânsito completamente através do centro da sombra da Terra —, estima-se que a Lua passa aproximadamente através de um eclipse particular — quando a Lua passa através de um eclipse lunar. A Terra é a Lua particularmente que toca a sombra da Terra equivalente ao tamanho da própria Terra.

O diagrama mostra a Lua passando através da sombra da Terra. Nesse eclipse particular mostra a Lua passando através da sombra da Terra. Figura 2 Os tambores relativos da Terra e da Lua podem ser estimados observando-se a



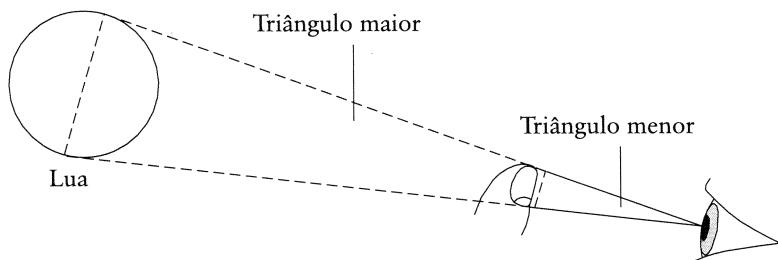


Figura 3 Tendo-se estimado o tamanho da Lua, é relativamente fácil determinar sua distância. Primeiro você vai notar que pode tapar a Lua com a ponta do dedo na extremidade de um braço esticado. Daí se torna claro que a proporção entre a altura da unha e o comprimento de um braço é, aproximadamente, a mesma que existe entre o diâmetro da Lua e sua distância da Terra. O comprimento do braço é aproximadamente cem vezes maior que a unha, assim, a distância até a Lua é aproximadamente cem vezes o seu diâmetro.

calcular o tamanho do Sol e a que distância ele se encontrava. Anaxágoras era um pensador radical do século V a.C., que considerava que o propósito da vida era a “investigação do Sol, da Lua e do céu”. Ele acreditava que o Sol era uma pedra incandescente e não uma divindade, e de modo semelhante acreditava que as estrelas também eram pedras quentes, mas muito distantes para aquecer a Terra. Em contraste, ele supunha que a Lua era uma pedra fria que não emitia luz, e Anaxágoras afirmava que o luar não passava de luz do Sol refletida. Apesar de um clima crescente de tolerância intelectual em Atenas, onde Anaxágoras vivia, ainda era controvertido afirmar que o Sol e a Lua eram pedras e não deuses. Tanto que seus rivais invejosos acusaram Anaxágoras de heresia e organizaram uma campanha que resultou no seu exílio para Lâmpsaco na Ásia Menor. Os atenienses tinham uma queda para adornar sua cidade com ídolos, e é por isso que, em 1638, o bispo John Wilkins comentou ser irônico que um homem que transformava deuses em pedras fosse perseguido por pessoas que transformavam pedras em deuses.

No século III a.C., Aristarco ampliou a idéia de Anaxágoras. Se o luar era luz do Sol refletida, afirmou, então a meia-lua deve acontecer quando o Sol, a Lua e a Terra formam um ângulo reto, como mostrado na figura 4. Aristarco mediou o ângulo entre as linhas ligando a Terra ao Sol e à Lua, e então usou a trigonometria para calcular a proporção entre as distâncias

Terra-Lua e Terra-Sol. Ele medica que o Sol estava vinte vezes anterior já tinha fornecido a distância de $89,85^\circ$ e o Sol está quatorze. Aristarco tinha claramente se enganado. Mas novamente precisão não é volvido um método válido que permita de medição melhores resultados de verdadeira resposta.

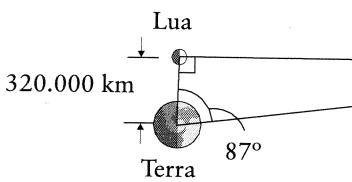


Figura 4 Aristarco afirmou que era de que a Terra, a Lua e o Sol forma metade de sua fase. Na meia-lua, med simples e a distância conhecida entre minar a distância Terra-Sol.

Finalmente, deduzir o tamanho conhecido que a Lua se encaixa no espaço solar. Portanto, a proporção Terra deve ser a mesma existente entre Terra, como é mostrado na figura e sua distância da Terra, e também assim seu diâmetro é fácil de calcular. Na figura 3, em que a distância até a Lua é de 100 mil km, a distância até a Terra é de 150 mil km, e a Terra é representada por um círculo com 12,5 mil km de diâmetro, a Lua é representada por um círculo com 3,8 mil km de diâmetro.

unha como obxecto con tamánho e distancia coñecidos. A figura 3, em que a distancia ate nosa unha e a altura servirán para medir assim seu diámetro e facíl de calcular. O método é idéntico ao ilustrado na Terra, como é mostrado na figura 5. Nos já coñecemos o diámetro da Lua e sua distancia da Terra, e tambeóm sabemos a distancia do Sol ate a Terra, como se ser a mesma existente entre o diámetro do Sol e sua distancia da Terra. Portanto, a proporción entre o diámetro do Sol e sua distancia da Terra é a mesma que a entre a Lua e a Terra. Por tanto, se encaixa perfectamente sobre o Sol durante um eclipse solar. Finalmente, deduzir o tamánho do Sol é óbvio, porque é um fato bem coñecido que a Lua se encaixa perfectamente sobre o Sol durante um eclipse solar.

Figura 4 Aristarco afirmou que era possível estimar a distancia ate o Sol usando o fato de que a Terra, a Lua e o Sol formam um triángulo reto quando a Lua se encontra na meade de sua fase. Na meia-lua, mediu o ângulo mostrado no diagrama. A trigonometría simples é a distancia coñecida entre a Terra e a Lua podem entao ser usadas para determinar a distancia Terra-Sol.

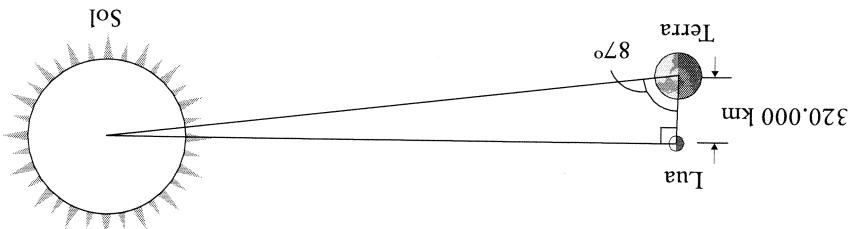


Figura 4 Aristarco afirmou que era possível estimar a distancia ate o Sol usando o fato de que a Terra, a Lua e o Sol formam um triángulo reto quando a Lua se encontra na meade de sua fase. Na meia-lua, mediu o ângulo mostrado no diagrama. A trigonometría simples é a distancia coñecida entre a Terra e a Lua podem entao ser usadas para determinar a distancia Terra-Sol.

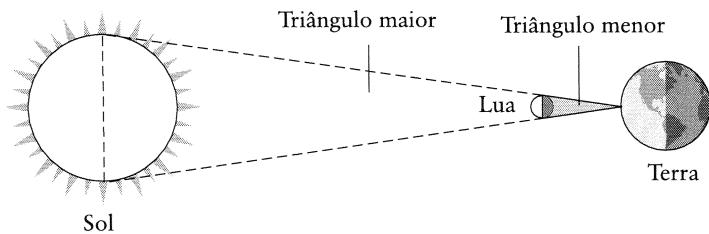


Figura 5 É possível estimar o tamanho do Sol, depois que conhecemos sua distância. Um método é usar um eclipse total do Sol e o nosso conhecimento do diâmetro da Lua e de sua distância. Um eclipse total do Sol é visível apenas de um pequeno trecho na superfície da Terra em cada ocasião, porque o Sol e a Lua parecem ter o mesmo tamanho quando vistos da Terra. O diagrama (que não está em escala) mostra como um observador do eclipse na Terra se encontra no vértice de dois triângulos semelhantes. O primeiro triângulo se estende até a Lua e o segundo triângulo, até o Sol. Sabendo-se as distâncias até a Lua e até o Sol e conhecendo-se o diâmetro da Lua, já é o bastante para deduzir o diâmetro do Sol.

Essas conquistas assombrosas de Eratóstenes, Aristarco e Anaxágoras ilustram os avanços no pensamento científico que aconteciam na antiga Grécia, porque suas medições do universo dependiam da lógica, da matemática, da observação e das medições. Mas será que os gregos merecem realmente todo o crédito pelo estabelecimento das bases da ciência? Afinal, os babilônios foram grandes praticantes da astronomia, fazendo milhares de observações detalhadas. Existe um consenso geral entre os filósofos e os historiadores da ciência de que os babilônios não eram verdadeiros cientistas, porque se contentavam com um universo guiado por deuses e explicado por mitos. Em todo caso, colecionar centenas de medições e catalogar intermináveis posições de estrelas e planetas é trivial se comparado à verdadeira ciência, à gloriosa ambição de tentar explicar tais observações através da compreensão da natureza básica do universo. Como declarou com razão o matemático e filósofo francês Henri Poincaré, “a ciência é construída com fatos, como uma casa é feita com pedras. Mas uma coleção de fatos não é mais ciência do que uma pilha de pedras é uma casa”.

Se os babilônios não foram os primeiros protocientistas, e quanto aos egípcios? A Grande Pirâmide de Queops antecede o Partenon em 2 mil anos e os egípcios certamente estavam mais avançados do que os gregos em ter-

mos de desenvolvimento de e madeira, velas e muitas outras tecnologia, não de ciência. A t como demonstrado pelos exen cilitar os rituais da morte, o co ção e a iluminação. Em resum tornar a vida (e a morte) mais um esforço para compreende curiosidade, em lugar de busca

Embora cientistas e tecnólo confusão freqüente é achar qu que tudo indica porque as desc tecnológicos. Por exemplo, os bertas a respeito da eletricida ventar lâmpadas e muitos outr a tecnologia avançava sem prec diam ser inventores bem-suced Quando fabricavam cerveja, tecnológicos e nos resultados, e formado em outro, e o porquê. mecanismos químicos e bioquí

E assim os egípcios eram tec e seus colegas eram cientistas, gregos eram idênticas às descrit

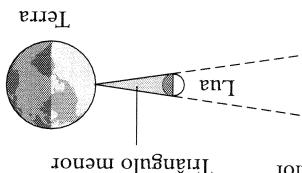
O cientista não estuda a natureza, a natureza o encanta com ela, e ele se encant fosse bela, não valeria a pena conhecê-la. A natureza, a vida não valeria a pena aqui daquela beleza que atinge o aparente. Não que eu não valha, não tem nada a ver com a ciênci da que deriva da ordem harmoniosa, uma inteligência pura.

Embora ciências e tecnologias tenham objetos muito diferentes, uma confusão freqüente é achar que ciência e tecnologia são a mesma coisa, ao que tudo indica porque as descobertas científicas costumam levar a avanços tecnológicos. Por exemplo, os cientistas passaram décadas fazendo descobertas a respeito da eletricidade, que os tecnólogos então usaram para incentrar lâmpadas e muitos outros engenhos. Nos tempos antigos, entre tanto, a tecnologia avançava sem nenhum entendimento da ciência. Iliam ser inventores bem-sucedidos sem nenhuma compreensão dos mecanismos químicos e biológicos em ação.

É assim os egípcios eram tecnólogos e não cientistas, enquanto franceses eus colegas eram cientistas, não tecnólogos. As intenções dos cientistas franceses eram idênticas às descritas 2 mil anos depois por Henri Poincaré: regras que definem a natureza de um objeto, e o por que, de modo que a natureza possa ser compreendida. Ele não valeu a pena conhecer a natureza, a vida não valeria a pena conhecê-la, e, se não valesse a pena conhecer a natureza com ela, e ele se encantava por que ela é útil; ele a estudava porque se encantava com ela, e a vida não valeria a pena achar que os sentidos, da beleza das apariências. Não que eu não valorize esse tipo de beleza, longe disso, mas ela não tem nada a ver com a ciência. Aqui estou falando da beleza mais profunda que é a beleza da ordem harmônica das partes e que pode ser percebida com a intuição pura.

Mos de desenvolvimento de escadas de peso, cosméticos, tintas, trancas de madeira, vela e outras invenções. Estes, entretanto, são exemplos de tecnologia, não de ciência. A tecnologia é um exemplo de atividade prática, como demonstrado pelos exemplos gráficos fornecidos, que ajudaram a facilitar os rituais da morte, o comércio, o embalezamento, a escrita, a proteção e a iluminação. Em resumo, a tecnologia evoluiu todo o necessário para tornar a vida (e a morte) mais cômoda, enquanto a ciência é simplesmente esforço para compreender o mundo. Os cientistas são movidos pela curiosidade, em busca de uma explicação para o que acontece.

27 NO PRINCIPIO



Em resumo, os gregos tinham demonstrado que só se pode conhecer o diâmetro do Sol conhecendo-se sua distância, que depende do conhecimento da distância da Lua, o qual vem a partir do conhecimento de seu diâmetro. E isso depende do conhecimento do diâmetro da Terra, e esta foi a grande realização de Eratóstenes. O conhecimento dessas distâncias e diâmetros foi obtido estudando-se um profundo poço vertical no Trópico de Câncer, a sombra lançada pela Terra sobre a Lua, o fato de que Sol, Lua e Terra formam um ângulo reto na meia-lua, e a observação de que a Lua se encaixa perfeitamente sobre o Sol durante um eclipse solar. Acrescente-se a isso algumas suposições de que o luar nada mais é do que a luz solar refletida, e uma estrutura de lógica científica toma forma. Essa arquitetura de lógica científica tem uma beleza inerente que surge a partir do encaixe dos vários argumentos, de como as várias medições se ligam umas às outras e de como as diferentes teorias são introduzidas subitamente para adicionar solidez à estrutura.

Tendo completado sua fase inicial de medições, os astrônomos da Grécia antiga agora estavam prontos para examinar os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas. Estavam a ponto de criar um modelo dinâmico do Universo em sua tentativa de compreender a interação entre os vários corpos celestes. Esse seria o próximo passo na estrada para um conhecimento profundo do universo.

Círculos dentro de círculos

Nossos ancestrais mais distantes estudavam o céu em detalhe, fosse para prever mudanças no clima, manter um registro do tempo ou encontrar as direções. A cada dia observavam o Sol cruzar o céu e a cada noite viam o desfile de estrelas que seguia em seu rastro. A terra onde caminhavam era firme e fixa, e por isso era natural presumir que os corpos celestes se moviam em relação a uma terra estática e não o contrário. Conseqüentemente, os antigos astrônomos desenvolveram uma visão de mundo na qual a Terra era um globo central, estático, com o universo girando ao seu redor.

Tabela 1

As medições feitas por Eratóstenes, assim a tabela abaixo cedendo valores modernos das

Circunferência da Terra
Diâmetro da Terra
Diâmetro da Lua
Diâmetro do Sol
Distância Terra — Lua
Distância Terra — Sol

Esta tabela também serve como de escrever números muito grandes, muito grandes

10^1 quer dizer 10
10^2 quer dizer 10×10
10^3 quer dizer $10 \times 10 \times 10$
10^4 quer dizer $10 \times 10 \times 10 \times 10$

A circunferência da Terra, por exemplo
 $40.100 \text{ km} = 4,01 \times 10.000$

A notação exponencial é uma notação concisa e sem usar um monte de zeros, de modo a economizar espaço.

A notação exponencial também

10^{-1} significa $1 \div 10$
10^{-2} significa $1 \div (10 \times 10)$
10^{-3} significa $1 \div (10 \times 10 \times 10)$
10^{-4} significa $1 \div (10 \times 10 \times 10 \times 10)$

etc.

2 de círculos

As medições feitas por Eratostenes, Aristarcos e Anaxágoras eram imprecisas, assim a tabela abaixo corrige os valores previamente citados fornecidas, sendo valores modernos das várias distâncias e diámetros.	
Circunferência da Terra	40.100 km = $4,01 \times 10^4$ km
Dâmetro da Terra	12.750 km = $1,275 \times 10^4$ km
Dâmetro da Lua	3.480 km = $3,48 \times 10^3$ km
Dâmetro do Sol	1.390.000 km = $1,39 \times 10^6$ km
Dâmetro da Terra — Lua	3.840.000 km = $3,84 \times 10^6$ km
Dâmetro Terra — Sol	150.000.000 km = $1,50 \times 10^8$ km
Distança Terra — Sol	150.000 km = $1,50 \times 10^5$ km
Distança Terra — Lua	3.840 km = $3,84 \times 10^3$ km
Distança Terra — Sol	1.390.000 km = $1,39 \times 10^6$ km
Distança Terra — Lua	3.840 km = $3,84 \times 10^3$ km
Está tabela também serve como introdução para a <i>notação exponencial</i> , um modo de escrever números muito grandes — e em cosmologia existem alguns números muito, muito grandes	

A notação exponencial também é usada para escravar números muito pequenos: segueido por N zeros, de modo que 10^3 é 1 segueido de três zeros da 1.000 conchis e sem usar um monte de zeros. Outro modo de pensar em 10^N é como A notação exponencial é uma maneira excelente de escrever números de modo 40.100 km = $4,01 \times 10.000$ km = $4,01 \times 10^4$ km.

A circunferência da Terra, por exemplo, pode ser escrita como:

$$\begin{aligned} 10^4 \text{ quer dizer } 10 \times 10 \times 10 \times 10 &= 10.000 \\ 10^3 \text{ quer dizer } 10 \times 10 \times 10 &= 100 \\ 10^2 \text{ quer dizer } 10 \times 10 &= 10 \\ 10^1 \text{ quer dizer } 10 &= 10 \end{aligned}$$

A notação exponencial também é usada para escravar números muito pequenos: segueido por N zeros, de modo que 10^{-3} é 1 segueido de três zeros da 0,001 conchis e sem usar um monte de zeros. Outro modo de pensar em 10^{-N} é como A notação exponencial também é usada para escravar números muito pequenos: segueido por N zeros, de modo que 10^{-3} é 1 segueido de três zeros da 0,001 etc.

Table 1

Na realidade, é a Terra que se move em torno do Sol, e não o Sol que se move em torno da Terra, mas ninguém considerou esta possibilidade até que Filolau, de Crotona, entrasse no debate. Seguidor da escola pitagórica no século V a.C., ele foi o primeiro a sugerir que a Terra orbitava o Sol, e não vice-versa. No século seguinte, Heráclides do Ponto aperfeiçoou as idéias de Filolau, ainda que seus amigos pensassem que ele era louco, apelidando-o de *paradoxolog*, “o criador de paradoxos”. Os toques finais à sua visão do universo foram acrescentados por Aristarco, que nasceu no ano 310 a.C., no mesmo ano em que Heráclides morreu.

Embora Aristarco tenha contribuído para medir a distância até o Sol, esta foi uma realização menor comparada a sua concepção espantosamente precisa do universo. Ele tentava desalojar a visão intuitiva (embora incorreta) do universo, na qual a Terra é o centro de tudo, como mostrado na figura 6(a). Em contraste, a visão de Aristarco, menos óbvia (embora correta), tem a Terra correndo em torno de um Sol mais dominante, como mostrado na figura 6(b). Aristarco também estava certo quando declarou que a Terra gira em torno de seu eixo a cada 24 horas, o que explica por que a cada dia encaramos o Sol, enquanto a cada noite olhamos na direção oposta.

Aristarco foi um filósofo muito respeitado, e suas idéias sobre a astronomia se tornaram bem conhecidas. De fato, sua crença num universo centrado no Sol foi documentada por Arquimedes, que escreveu: “Ele tem a hipótese de que as estrelas fixas e o Sol permanecem imóveis; e que a Terra se move em torno do Sol seguindo a circunferência de um círculo”. E, no entanto, os filósofos abandonaram completamente essa visão bem precisa do sistema solar, e a idéia de um mundo com o Sol no centro desapareceu pelos 1.500 anos seguintes. Supõe-se que os antigos gregos eram inteligentes, então por que rejeitaram a visão de mundo de Aristarco e preferiram um universo centrado na Terra?

Atitudes egocêntricas podem ter contribuído para a predominância da visão de mundo geocêntrica, mas existem outros motivos para se preferir um universo centrado na Terra em lugar do universo centrado no Sol de Aristarco. Um problema básico para a idéia de um mundo centrado no Sol é que ela parece simplesmente ridícula. Parece muito óbvio que o Sol gira em torno de uma Terra estática e não o contrário. Resumindo, o universo com o Sol no centro se chocava com o bom senso. Os bons cientistas, entretanto,

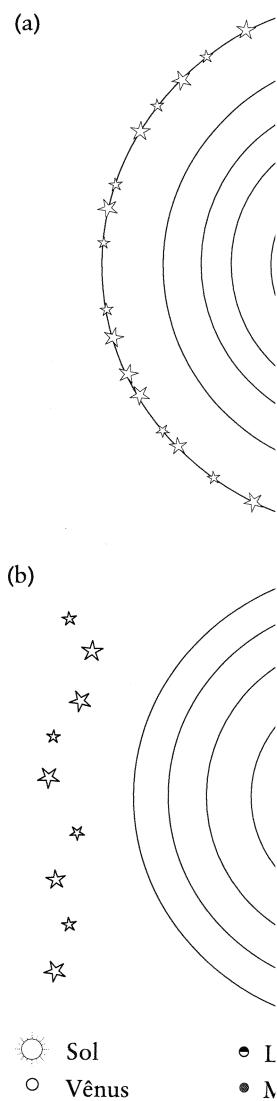
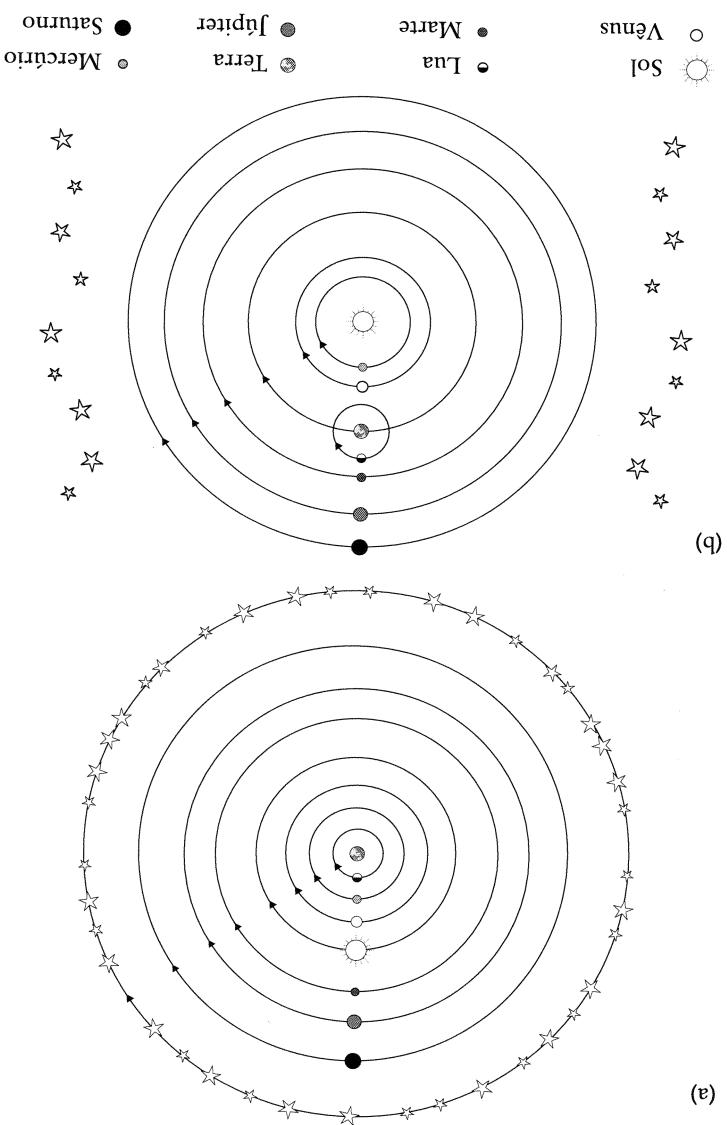


Figura 6 O diagrama (a) mostra o universo geocêntrico com a Terra no centro, orbitada por Lua, Sol e estrelas. O diagrama (b) mostra o universo heliocêntrico com o Sol no centro, orbitado por Vênus, Terra e estrelas. O fundo é o espaço estático do universo.

Figura 6 O diagrama (a) mostra o modelo clássico e incorreto do universo centrado na Terra, no qual a Lua, o Sol e os outros planetas obtiram a Terra. Ate mesmo os milhares de estrelas orbitam a Terra. O diagrama (b) mostra a visão de Aristarco do universo centrado no Sol, com apenas a Lua orbitando a Terra. Nesse caso, as estrelas formam o fundo estatico do universo

em torrão do Solo, e não o Solo que considerou esta possibilidade ate que aterraria que a Terra orbitava o Solo, e não teria Seguidor da escola pitagórica no te. Seguidor da escola pitagórica no te, considerou esta possibilidade ate que m que era louco, apelidando-o de Os todos finais à sua visão do uni- da a sua concepção espantosamente ar a visão instintiva (embora incorre- ro de tudo, como mostrado na figura mais dominante, como mostrado na visão óbvia (embora correta), tem menos óbvia (embora correta), tem o que a Terra girava sobre o Solo, o que os olhamos na direção oposta.



não devem ser abalados pelo bom senso porque às vezes ele tem pouco a ver com a verdade científica subjacente. Albert Einstein condenou o bom senso, declarando que ele é “a coleção de preconceitos adquiridos aos 18 anos”.

Outro motivo para os gregos rejeitarem o sistema solar de Aristarco foi sua aparente incapacidade de suportar a investigação científica. Aristarco tinha criado um modelo de universo que devia corresponder à realidade, mas não estava claro se este modelo era preciso. Será que a Terra de fato orbitava o Sol? Os críticos apontavam três falhas aparentes no modelo centrado no Sol de Aristarco.

Em primeiro lugar, os gregos acreditavam que, se a Terra se movesse, nós sentiríamos o vento a soprar constantemente contra nós e seríamos derrubados quando o solo corresse sob nossos pés. E, no entanto, não sentimos esse vento constante, nem o solo foge sob nossos pés, daí os gregos concluírem que a Terra devia ser estática. É claro que a Terra se move, e o motivo pelo qual não percebemos sua fantástica velocidade através do espaço é que tudo na Terra se move com ela, incluindo nós, a atmosfera e o solo. Os gregos não conseguiram compreender esse argumento.

O segundo ponto problemático era que uma Terra móvel era incompatível com a compreensão grega da gravidade. Como mencionamos antes, a idéia tradicional era de que tudo tendia a se mover em direção ao centro do universo, e a Terra já estava no centro, por isso não se movia. Essa teoria fazia sentido perfeitamente, pois explicava que as maçãs caíam das árvores em direção ao centro da Terra porque estavam sendo atraídas para o centro do universo. Mas, se o Sol fosse o centro do universo, então por que os objetos caíam em direção à Terra? Nesse caso, as maçãs não deviam cair das árvores e sim serem sugadas em direção ao Sol — de fato, tudo na Terra devia cair em direção ao Sol. Hoje em dia temos uma compreensão mais clara da gravidade, que torna um sistema solar centrado no Sol muito mais sensato. A moderna teoria da gravidade descreve de que forma objetos próximos da Terra maciça são atraídos para a Terra, enquanto, por sua vez, os planetas são mantidos em órbita pela atração de um Sol ainda mais maciço. Mas, novamente, tal explicação estava além de limitada estrutura científica dos gregos.

O terceiro motivo para os filósofos gregos rejeitarem o universo centrado no Sol era a aparente ausência de qualquer mudança nas posições das estre-

las. Se a Terra viajava imensas observar o universo de posição observação móvel resultaria n estrelas deveriam se mover u como *paralaxe estelar*. É poss local simplesmente colocando Feche o olho esquerdo e use o objeto próximo, talvez a beir direito e abra o esquerdo e vc em relação à borda da janela para o outro e seu dedo para mudar o ponto de observação uma distância de alguns centímetros em relação a outro objeto. Iss

A distância da Terra ao Sol. Se a Terra orbitasse o Sol então ela manteria de sua posição original ser impossível detectar qualq devoiam se deslocar umas em um ano, com a enorme mudança d orbitasse o Sol. Uma vez mais clusão de que a Terra não se move. Terra orbita o Sol, e a paralaxe gregos porque as estrelas estão aí a reduz o efeito da paralaxe mas desta vez estendendo o braço de metro de distância. Novamente a borda da janela. Dessa vez, esquerdo, a mudança de paralaxes, porque seu dedo está mais resumo, a Terra se move, mas com a distância, e as estrelas es não podia ser detectada com ii

Na época, os indícios con

Na época, os indícios contra o modelo de Aristarco, de um universo inacessível, eram poucos e detetados com instrumentos primitivos.

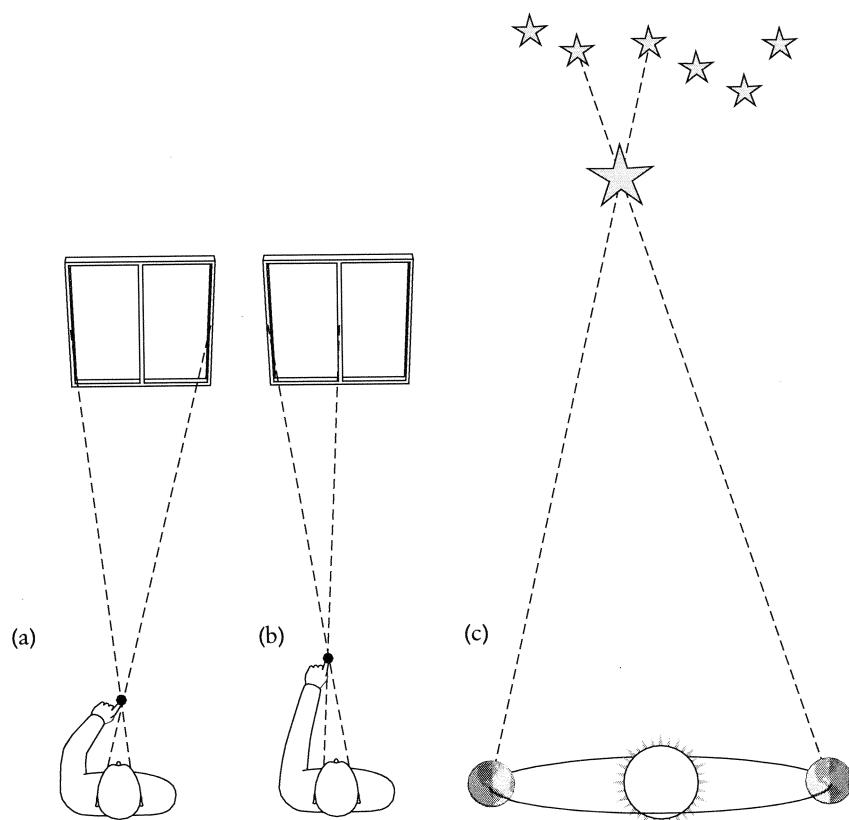


Figura 7 Paralaxe é a mudança aparente na posição de um objeto devido a uma mudança no ponto de visada do observador. O diagrama (a) mostra como um dedo se alinha com a borda da janela esquerda quando visto com o olho direito, mas muda quando visto com o outro olho. O diagrama (b) mostra que a mudança de paralaxe provocada pela mudança entre os olhos se reduz significativamente se o dedo estiver mais distante. Como a Terra orbita o Sol, nosso ponto de observação muda, se uma estrela servir de marcador, então sua posição deveria mudar em relação às estrelas mais distantes no decorrer de um ano. O diagrama (c) mostra como a estrela marcadora se alinha com dois fundos estelares diferentes dependendo da posição da Terra. Contudo, se o diagrama (c) fosse desenhado em escala, então as estrelas estariam a mais de um quilômetro acima do topo da página! Portanto, a mudança de paralaxe seria minúscula e imperceptível para os gregos antigos. Os gregos achavam que as estrelas estavam muito mais próximas, assim, para eles, uma ausência na mudança de paralaxe implicava uma Terra estática.

centrado no Sol, pareciam todos os seus amigos filósofos na Terra. Seu modelo tradicional era coerente. Eles estavam satisfeitos dele. Contudo, havia um problema: a Lua e as estrelas pareciam não moverem-se quando, um deles até mesmo tentou reverter a direção de seu movimento. Como *movimento retrógrado* é chamado, é um movimento que é conhecido: Mercúrio, Vênus e Marte. O nome “planeta” deriva do grego *planetos*, que significa “aquele que viaja para trás”.

De modo semelhante, os gregos antigos chamavam a constelação “carneiro selvagem” - Eta Ursae Majoris. E os antigos egípcios chamavam a constelação “aquele que viaja para trás” - Epsilon Ursae Majoris.

Na nossa moderna perspectiva, o comportamento desses vários corpos celestes que orbitam o Sol de modo consistente é muito simples. A Terra, e é por isso que é chamada de Terra, é especial. Os movimentos reais são fáceis de explicar. A figura 7 mostra o que acontece quando a Terra, que contém apenas o Sol, a Terra e Marte, é movida de um lado para o outro. A constelação do que Marte, e, à medida que a Terra se move, a nossa linha de visada de Marte muda. A constelação é velha perspectiva centrada no Sol, a Terra e Marte, e é por isso que é chamada de Terra. Parecia que Marte, como os outros planetas, tinha movimentos retrógrados, mas que presentavam por órbitas em forma de elipses.

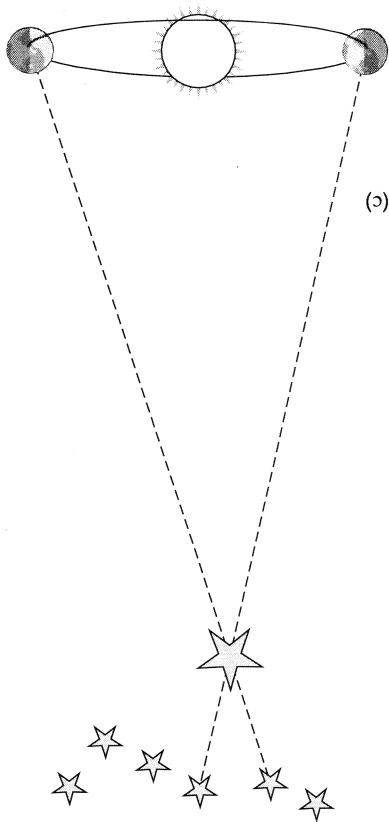
Essas órbitas planetárias eram aceitas por todos os antigos gregos, porque estavam de acordo com Platão e seu discurso.

Essas órbitas planetárias enlaçadas eram tremendamente problemáticas para os antigos gregos, porque todas as órbitas deviam ser circulares, de acordo com Platão e seu discípulo Aristóteles. Elas afirmavam que o círculo, que é o sólido perfeito, era a forma natural das coisas.

Na nossa moderna perspectiva da Terra orbitando o Sol, é fácil entender o comportamento desses vagabundos celestes. Na realidade, os planetas orbitam o Sol de modo constante, mas os observamos a partir de uma placa-forma móvel, a Terra, e é por isso que seus movimentos parecem irregulares. Em especial os movimentos retrogrados exibidos por Marte, Saturno e Júpiter são facetas de explicar. A figura 8(a) mostra um sistema solar simplificado contendo apenas o Sol, a Terra e Marte. A Terra orbita o Sol mais rapidamente do que Marte, e, à medida que alcançamos Marte e o ultrapassamos, vemos Marte retroceder. Porém, Marte não é o único planeta que faz esse movimento. Vemos Júpiter e Saturno fazerem o mesmo movimento, e até mesmo Urano e Netuno. Por que isso acontece?

De modo semelhante, o termo babilônio para planeta era *bibbu*, literalmente “carrinho selvagem” — porquê os planetas pareciam perdidos no céu. Es antigos egípcios chamavam Marte de *sekded-ef em khettchet*, que significa “adule que viaja para trás”.

centrada no **Sol**, parciaiam irressistíveis, portanto é bem compreensível que todos os seus amigos filósofos teham permanecido leais ao modelo centrado na Terra. Seu modelo tradicional pareceia preferitamente senstos, radical e coerente. Elas estavam satisfeitas com sua visão do universo e seu lugar dentro dele. Contudo, havia uma questão importante. E bem certo que o Sol, a Lua e as estrelas parecem marcar obedientemente em torno da Terra, mas havia ainda um detalhe que vagueava mero a esmo pelo céu. De vez em quando, um deles ate mesmo se atrevia a parar momentaneamente, antes de reverter a direção de seu movimento por um tempo, num recuo conhecido como *movimento retrógrado*. Esses rebeldes errantes eram os cinco planetas conhecidos: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. De fato, a palavra *“planetário”* deriva do grego *planeta*, que significa errante.



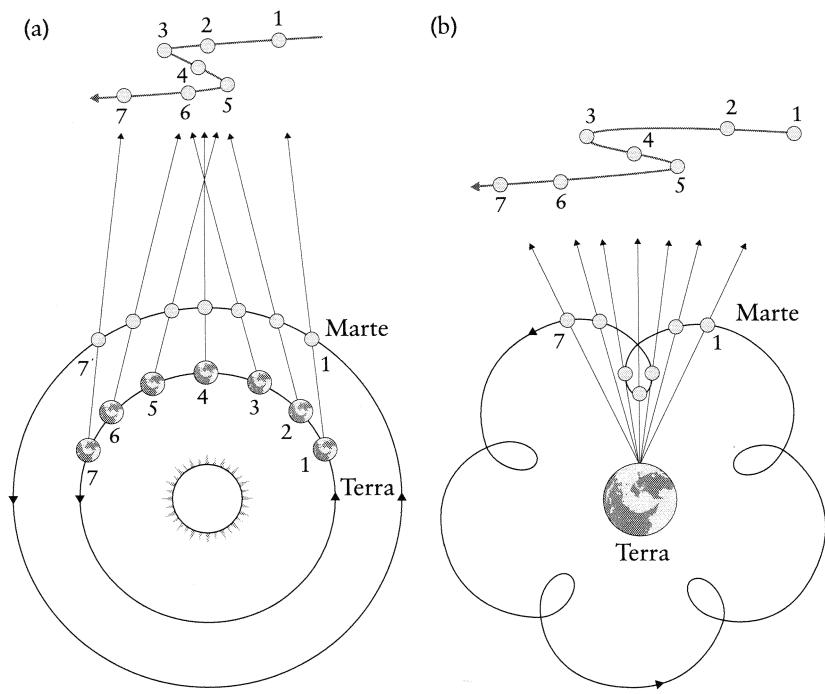


Figura 8 Planetas como Marte, Júpiter e Saturno apresentam o chamado movimento retrógrado quando vistos da Terra. O diagrama (a) mostra um Sistema Solar simplificado para conter apenas a Terra e Marte orbitando (no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio) em torno do Sol. Da posição 1 veríamos Marte cada vez mais à nossa frente, o que continuaria da posição 2. Mas, na posição 3, Marte pára e na posição 4 ele agora está se movendo para a direita, e ainda mais para a direita quando a Terra chega à posição 5. Acontece então outra pausa antes que Marte retome sua direção original de movimento, como visto das posições 6 e 7. É claro que Marte está se movendo continuamente em torno do Sol no sentido contrário aos ponteiros do relógio, mas o planeta parece estar ziguezagueando devido aos movimentos relativos da Terra e de Marte. O movimento retrógrado faz sentido quando num modelo do universo centrado no Sol.

O diagrama (b) mostra como os adeptos do modelo centrado na Terra percebiam a órbita de Marte. O ziguezague do planeta era interpretado como uma órbita realmente em forma de laço. Em outras palavras, os tradicionalistas acreditavam que a Terra, estática, ficava no centro do universo, enquanto Marte descrevia laços em torno da Terra.

com sua simplicidade, beleza perfeita, e como os céus celestes tinham que viajar e minaram o problema e, ao final, a solução habilidosa — um modelo de uma combinação de círculos Aristóteles sobre a perfeição de um astrônomo, Ptolomeu.

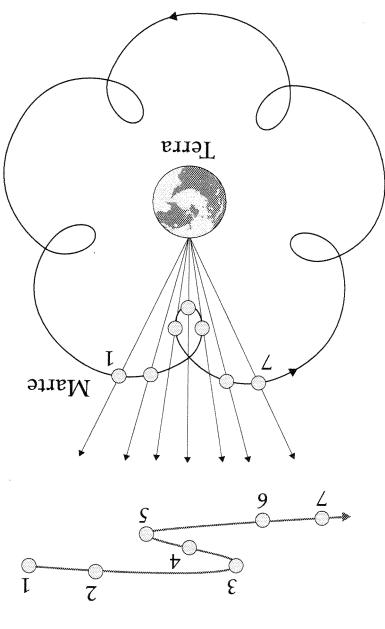
A visão de mundo de Ptolomeu aceita, de que a Terra estava no centro “todos os animais e terra flutuando no ar”. Em segui- termos de simples círculos, ele desenvolveu a teoria dos planetas figura 9. Para gerar uma órbita tal como a seguida por Marte, o círculo (conhecido como *deferente*) a girar. O planeta então o círculo giraria. Se o círculo deferente em torno desse pino e o planeta curto (conhecido como *epícenter*) forma, se o círculo deferente ento o planeta seguiria uma mostrado na figura 9(b). Cor ao mesmo tempo o eixo giraria, então a trajetória do planeta no dos dois círculos, o que figura 9(c).

Embora tal descrição de modelo de Ptolomeu, era na Ptolomeu imaginou seu modelo de cristal, mas, para simplificar, círculos bidimensionais. Tam- grados dos vários planetas, F

Embora tal descrição de círculos e eixos transmita a ideia central do modelo de Ptolomeu, era na verdade muito mais complicada. Para comegar, Ptolomeu imaginou seu modelo em três dimensões e construído com esferas de cristal, mas, para simplificar, vamos contínuar a raciocinar em termos de círculos bidimensionais. Também, de modo a explicar os movimentos reais dos vários planetas, Ptolomeu tinha que ajustar cuidadosamente o

A visão de mundos de Tolomeu comegava com a suposição, amplamente aceita, de que a Terra estava no centro do Universo e estacionária, de outro modo, “todos os animais e todos os pesos soltos seriam devidos para trás, faltando no ar”. Em seguida ele explicava as órbitas do Sol e da Lua em termos de simples círculos. Então, para explicar o movimento retrogrado, ele desenvolveu a teoria dos círculos dentro de círculos, como ilustrado na figura 9. Para gerar uma órbita com um movimento retrogrado, tal como a seguida por Marte, Tolomeu propunha comegar com um único círculo (conhecido como *epíclo*), como mostrado na figura 9(a). De outra forma (conhecido como *epicílio*), como mostrado na figura 9(b). Contudo, ao mesmo tempo o exo girasse junto com o círculo diferente principal, entao a trajetória do planeta seria uma mistura de seus movimentos em tor- no dos dois círculos, o que imita um lago retrogrado, como mostrado na figura 9(c).

com sua simplicidade, beleza e ausência de princípio ou fim, era a forma preferida, e como os céus eram o reino da perfeição, então todos os corpos celestes tinham que viajar em círculo. Vários astrônomos e matemáticos ex-a-minaram o problema, e, ao longo de vários séculos, desenvolveram uma solução habilidosa — um modo de descrever as órbitas planetárias em termos de uma combinação de círculos, que estavam de acordo com a lei de Platão e Aristóteles sobre a preferência circular. A solução acabou associada ao nome de um astrônomo, Ptolomeu, que viveu em Alexandria no século II.



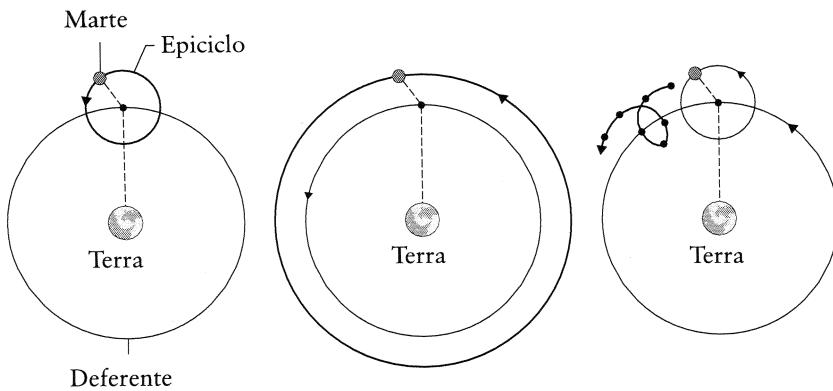


Figura 9 O modelo ptolomaico do universo explicava as órbitas enlaçadas de planetas como Marte usando combinações de círculos. O diagrama (a) mostra o círculo principal, chamado de deferente, e uma vareta giratória com um planeta em sua extremidade. Se o deferente não girar, mas a vareta girar, o planeta descreverá um círculo menor, marcado em negrito, na ponta da vareta, que é chamado de epicílio.

O diagrama (b) mostra o que acontece se a vareta giratória permanecer fixa e o deferente girar. O planeta descreverá um círculo com um raio maior.

O diagrama (c) mostra o que acontece se a vareta girar em torno de seu ponto de fixação e o ponto girar com o deferente. Dessa vez o epicílio ficará sobreposto ao deferente e a órbita do planeta será uma combinação dos dois movimentos circulares, o que resultará em uma órbita retrógrada associada a planetas como Marte. O raio do epicílio e do deferente podem ser ajustados e as duas velocidades de rotação podem ser escolhidas para imitar a trajetória de qualquer planeta.

raio do deferente e do epicílio para cada planeta, e selecionar a velocidade com que cada um girava. Para uma precisão ainda maior, ele introduziu dois outros elementos variáveis. O excêntrico, definido como um ponto ao lado da Terra que agia como um centro levemente deslocado para o círculo deferente, enquanto o *equante* definia outro ponto próximo da Terra cuja influência contribuía para a velocidade variável do planeta. É difícil imaginar essa explicação, cada vez mais complicada, para as órbitas planetárias, mas, essencialmente, ela consistia em nada mais do que círculos em cima de círculos, e dentro de mais círculos.

A melhor analogia para o modelo de universo de Ptolomeu pode ser encontrada num parque de diversões. A Lua segue uma trajetória simples, como um cavalo num carrossel tranquilo para crianças pequenas. Mas a tra-

jetória de Marte parece mais u que prende a pessoa numa gó longo braço giratório. E o pas a gôndola gira, mas ao mesm maior, na extremidade do bra mentos se combinam, produz frete; em outras, a gôndola velocidade é reduzida ou me gôndola gira em torno de um deferente.

O modelo ptolomaico de se ajustar à crença de que tu objetos celestes seguem trajeto rivelmente complexo, cheio c tes, equantes e excêntricos. Erda astronomia escrita por Art como “o produto de uma fil Mas, apesar de estar fundame fazia uma das exigências bási posição e o movimento de ca que qualquer modelo anterior no Sol, que é basicamente co dos planetas com tal precisão de Ptolomeu tenha permanec Tabela 2 resume as principais entendido pelos antigos grego ridade do modelo centrado n

O modelo centrado na Ter *Hè megale syntaxis* (A grande) tornou o texto mais importa fato, no milênio que se segu fluenciados pelo *Syntaxis* e n gem do universo centrado na maior no ano 827, quando foi

O modelo centrado na Terra de Ptolomeu foi perpetuado através de seu He megale *Syntaxis* (A grande Colégio), escrito em torno do ano 150 e que se tornou o texto mais importante da astronomia nos séculos seguintes. De fato, no milênio que se seguiu, todos os astrônomos da Europa foram influenciados pelo *Syntaxis* e nenhum deles questionou seriamente sua imparcialidade. Quando foi traduzido para o árabe e rebatizado *Almugasto* em 827, gem do universo centrado na Terra. O *Syntaxis* atingiu um público ainda maior no ano 827, quando foi traduzido para o árabe e rebatizado *Almugasto*.

O modelo pтоломаico de universo centrado na Terra foi elaborado para se ajustar à crença de que tudo gira em torno da Terra e de que todos os objetos celestes seguem trajetórias circulares. Isto resultou num modelo terriblemnte complexo, cheio de epicíclos que se empilhavam sobre deferentes, que eram esferas e excêntricas. Em *Os sonambulos*, uma história dos primeiros astrónomos escrita por Arthur Koestler, o modelo pтолomáico é descrito como “o produto de uma filosofia cansada e de uma ciéncia decadente”, que apesar de estar fundamentalmente errado, o modelo pтолomáico satisfazia uma das exigências básicas de um modelo científico, já que previa a posição das estrelas fundamentamente errada, o modelo pтолomáico sati- posigão a um movimento de cada planeta com um grau de precisão maior do que qualquer modelo anterior. Até mesmo o modelo de Aristarco, centrado no Sol, que é basicamente correto, não era capaz de prever os movimentos dos planetas com tal precisão. Por isso, não é surpreendente que o modelo de Ptolomeu tenha permanecido, enquanto o de Aristarco desaparecia. A Tabela 2 resume as principais forças e fraudes dos dois modelos, como entendeu Ptolomeu a respeito de refutar a aparente superioridade do modelo centrado na Terra.

que prenده a pessoa numa gondola que gira em torno da extremidade de um longo braço giratório. E o passageiro segue uma trajetória circular enquanto a gondola gira, mas ao mesmo tempo está seguido uma trajetória circular, na extremidade do braço maior. Em algumas ocasiões, os dois movimentos se combinam, produzindo uma velocidade ainda mais movimentada; em outras, a gondola se move para trás em relação ao braço, e sua frenetica velocidade é reduzida ou mesmo invertida. Na terminologia protomática, a gondola gira em torno de um eixo, enduanto o braço maior descreve um

(O maior). E assim, durante a estagnação acadêmica da Idade Média europeia, as idéias de Ptolomeu foram mantidas vivas e estudadas pelos grandes estudiosos islâmicos do Oriente Médio. Durante a era de ouro do império islâmico, os astrônomos árabes inventaram muitos instrumentos astronômicos, fizeram observações significativas do céu e construíram vários observatórios importantes, como o al-Shammasiyah, em Bagdá, mas nunca duvidaram do universo centrado na Terra de Ptolomeu, com suas órbitas planetárias definidas por círculos dentro de círculos dentro de círculos.

À medida que a Europa finalmente começava a emergir de seu sono intelectual, o antigo conhecimento dos gregos foi exportado de volta para o Ocidente através da cidade moura de Toledo, na Espanha, onde existia uma magnífica biblioteca islâmica. Quando a cidade foi tomada dos mouros pelo rei espanhol Afonso VI, em 1085, estudiosos de toda a Europa tiveram a oportunidade inédita de acessar um dos mais importantes depósitos de conhecimento do mundo. A maior parte do conteúdo da biblioteca estava escrita em árabe, assim, a primeira prioridade foi estabelecer um departamento de tradução em escala industrial. A maioria dos tradutores trabalhava com a ajuda de um intermediário para traduzir do árabe para o vernáculo espanhol, e então para o latim. Mas um dos tradutores mais brilhantes e prolíficos foi Gerard de Cremona, que aprendera o árabe, de modo que podia conseguir uma interpretação mais direta e precisa. Ele tinha sido atraído para Toledo pelos boatos de que a obra-prima de Ptolomeu poderia ser encontrada na biblioteca, e, dos 76 livros seminais que ele traduziu do árabe para o latim, o *Almagesto* é sua realização mais significativa.

Graças aos esforços de Gerard e outros tradutores, os estudiosos europeus conseguiram familiarizar-se com os escritos do passado, e a pesquisa astronômica na Europa foi revigorada. Paradoxalmente, o progresso foi sufocado, porque havia uma reverência tão grande pelos trabalhos dos antigos gregos que ninguém se atrevia a questioná-los. Presumia-se que os estudiosos clássicos tinham dominado tudo o que podia ser conhecido, e, assim, livros como o *Almagesto* eram lidos como se fossem sagrados. E isso apesar do fato de os antigos terem cometido os maiores erros imagináveis. Por exemplo, os textos de Aristóteles eram considerados sagrados, apesar de ele declarar que os homens tinham mais dentes que as mulheres. Uma generalização

baseada na observação de que Embora tivesse se casado com deu ao trabalho de olhar a b um lógico excepcional, mas r experimentação. A ironia de t durante séculos para recuperar passar séculos desaprendendo ção do *Almagesto* por Gerard centrado na Terra sobreviveu

Tabela 2

Esta tabela enumera os vários critérios que os teóricos heliocêntricos centrados no Sol podem ser julgados. O milênio antes de Cristo. Os desempenho de cada teoria em comparação indicam ausência de dados ou de vista dos antigos, o modelo é (simplicidade), ainda que agora

Critério	1
1. Bom senso	Parece que a Terra
2. Consciência de movimento	Não deve portar para mover
3. Cair no solo	A Terra que o céu seja, o para o
4. Paralaxe estelar	Não se ausência de estrela

1. Bom senso	Parce que é óbvio que tudo gira em torno da Terra	Modelo centrado na Terra	Críterio
2. Consciência de mundo	Nao detectamos nenhum movimento portanto a Terra não pode estar se movendo.	Portanto a Terra não pode estar se movendo.	Vimento
3. Céu no solo	A centralidade da Terra explica por que objetos parecem cair ao solo, ou seja, os objetos estão sendo arrastados para o centro do universo.	A centralidade da Terra explica por que objetos parecem cair ao solo, ou seja, os objetos estão sendo arrastados para o centro do universo.	3.
4. Paralaxe estelar	Não se detecta a paralaxe estelar e sua ausência é compatível com uma Terra estatico.	Não se detecta a paralaxe estelar e sua ausência é compatível com uma Terra estatico.	nártio

Tabela 2

Esta tabela enumera os vários critérios sob os quais os modelos centrais na Terra e centrais no Sol podem ser julgados, com base naquele era conhecido no primeiro milénio antes de Cristo. Os vés e as cruzes dão indicações aproximadas do desempenho de cada teoria em relação aos sete critérios, e os pontos de interrogação ao lado dos antigos, o modelo central do Sol se saí melhor em apêndice uma área de vista dos antigos, o modelo central do Sol que agora sabemos estar mais próximo da realidade.

5. Previsão de órbitas planetárias	Muito aproximadas, as melhores já obtidas.	✓
6. Movimento retrógrado dos planetas	Explicado com epiciclos e deferentes.	✓
7. Simplicidade	Muito complicado — epiciclos diferentes, equantes e excêntricos.	X

Critério	Modelo centrado no Sol	Sucesso
1. Bom senso	É necessário um salto de imaginação e lógica para ver que a Terra pode girar ao redor do Sol.	X
2. Consciência de movimento	Não percebemos nenhum movimento, o que não é fácil de explicar se a Terra está se movendo.	X
3. Cair no solo	Não há explicação óbvia para o fato de os objetos caírem ao solo num modelo em que a Terra não fica no centro.	X
4. Paralaxe estelar	A Terra se move, assim a ausência aparente de paralaxe estelar deve ser decorrente das imensas distâncias; espera-se que a paralaxe seja detectada com equipamento melhor.	?
5. Previsão de órbitas planetárias	Bons resultados, mas não tão bons como no modelo centrado na Terra	?
6. Movimento retrógrado dos planetas	Uma consequência natural do movimento da Terra e do nosso ponto de vista	✓
7. Simplicidade	Muito simples — tudo percorre círculos	✓

Nesse meio-tempo, conti personalidades como Afonso formado Toledo em sua capit que ficou conhecido como 7 baseadas em suas próprias c Embora fosse um forte patr pontado com o intrincado s equantes e excênicos: “Se c antes de iniciar a Criação, eu

Então, no século XIV, Nicolaus Cusa declarou abertamente que a Terra não tinha sido provada compreendendo que a Terra estaria errada. E, na Cusa sugeriu que a Terra não era o Sol ocupasse o trono vazio.

O mundo teria que esperava a coragem de rearrumar dos gregos. O homem que acordou, de Aristarco, foi batizado de forma de Nicolau Copérnico.

Nascido em 1473, em uma província atual Polônia, Copérnico foi principalmente devido à influência. Tendo estudado direito e medicina, era agir como médico e se cidades que exigissem muito dedicar a várias atividades. Tornei na reforma monetária e para o latim do obscuro poeta

Entretanto, a grande paixão

Nascido em 1473, em uma prospera família de Tournu, as margens do Vistula, na atual Polônia, Copérnico foi nomeado cônego da catedral de Frauenburg, principalmente devido a influência de seu tio Lucas, que era bispo de Ermland. Tendo estudado direito e medicina na Itália, sua tarefa principal como cône- go era agir como médico e secretário de Lúcas. Essas não eram responsabilida- des que exigissem muito de seu tempo, e Copérnico ficava livre para se dedicar a várias atividades. Tornou-se um especialista em economia e conse- lhério na reforma monetária e ate mesmo público suas proprias traduções para o latim do obscuro poeta grego Teofílactus Simocates.

Entre tanto, a grande paixão de Copérnico era a astronomia, que o intere-

A Revolução

Nesse meio-tempo, contudo, algumas críticas menores foram feitas por personalidades como Afonso X, rei de Castela e Leão (1211-84). Tendo trans- formado Toledo em sua capital, ele pediu aos astrônomos que elaborassem o que ficou conhecido como *Tabellas alfonsinas* dos movimentos planetários, baseadas em suas próprias observações e em tabelas traduzidas do árabe. Embora fosse um forte patrono da astronomia, Afonso permaneceu desa- pontado com o impreciso sistema de Ptolomeu de diferentes, epicíclicos, equantes e excêntricos: “Se o Senhor Todo-poderoso tivesse me consultado antes de iniciar a Crisагão, eu teria recomendado alguma coisa mais simples”.

Então, no século XIV, Niccolé d’Oresme, capelão de Carlos V, da França, declarou abertamente que a ideia de um universo centrado na Terra ainda não tinha sido provada completamente, ainda que não chegasse a dizer que Cusa sugeriu que a Terra não era o centro do universo, mas evitou sugerir que o Sol ocupasse o trono vago.

O mundo teria que esperar até o século XVI antes que um astrônomo tivesse a coragem de rearrumar o universo e desafiar seriamente a cosmologia dos gregos. O homem que acabaria por reinventar o universo centrado no Sol, de Aristarco, foi batizado Mikolaj Kopernik, mas é mais conhecido pela forma de Nicolau Copérnico.

ressava desde que comprara um exemplar das *Tabelas alfonsinas* quando era estudante. Esse astrônomo amador logo estaria cada vez mais obcecado com o estudo dos movimentos dos planetas e suas idéias acabariam por torná-lo uma das figuras mais importantes da história da ciência.

Surpreendentemente, toda a pesquisa astronômica de Copérnico está contida em uma publicação e meia. E, o que é mais curioso, esse livro e meio quase não foi lido durante sua vida. O meio se refere ao seu primeiro trabalho, o *Commentariolus* (“Pequeno Comentário”), escrito à mão e nunca publicado. Ele circulou entre poucas pessoas por volta de 1514. Não obstante, em apenas vinte páginas, Copérnico sacudia o cosmos com a idéia mais radical a aparecer na astronomia no curso de mil anos. No âmago de seu folheto estavam sete axiomas sobre os quais ele baseara sua visão do universo:

1. Os corpos celestes não partilham de um centro comum.
2. O centro da Terra não é o centro do universo.
3. O centro do universo fica perto do Sol.
4. A distância da Terra ao Sol é insignificante comparada com a distância até as estrelas.
5. O movimento diário aparente das estrelas é o resultado da rotação da Terra em torno de seu eixo.
6. A seqüência anual aparente de movimentos do Sol é o resultado de uma revolução da Terra em torno dele. Todos os planetas giram em torno do Sol.
7. O movimento retrógrado aparente de alguns dos planetas é apenas o resultado de nossa posição como observadores em uma Terra móvel.

Os axiomas de Copérnico eram notáveis em todos os aspectos. A Terra gira, a Terra e os outros planetas se movem em torno do Sol, isso explica as órbitas planetárias retrógradas, a incapacidade de qualquer paralaxe estelar é devida à grande distância das estrelas. Não está claro o que levou Copérnico a formular esses axiomas, rompendo com a visão tradicional do mundo, mas talvez ele tenha sido influenciado por um de seus professores na Itália, Domenico Maria de Novara. Novara era receptivo à tradição pitagórica, que estava nas raízes da filosofia de Aristarco. E fora Aristarco o primeiro a propor o modelo centrado no Sol, 1.700 anos antes.

O *Commentariolus* era um, uma expressão da frustração complexidade do antigo modelo, natureza improvisada do modelo. “É como se um artista produz suas imagens a partir de modelagem, mas pertencente a cor, mas às outras, o resultado se torna, apesar de seu conteúdo radicalmente intelectuais europeus, em parcialmente porque seu autor lhe havia nas fronteiras da Europa.

Copérnico não ficou desanimado, esforçou-se para transformar a sua em 1512 (possivelmente enviado para descreveram como “o diabo e ainda para se dedicar aos estudos, montou um pequeno observatório, argumentos, acrescentando ao *Commentariolus*.

Copérnico passou os três anos seguintes escrevendo o *Commentariolus* e expandindo-o a 120 páginas. Durante esse prolongado período, preocupado em relação ao seu modelo do universo, queria aceitá-lo. Houve muitos dias e noites de trabalho, para donar seus planos de publicar. Além disso, ele suspeitava de que com o que considerariam uma heresia.

Ele estava certo em sua intolerância ao processar a parte da geração de dissidentes. Ele acusou Bruno de oito heresias que eram. Os historiadores e

Elle estava certo em se preocupar. Posteriormente a Igreja demonstrou sua intolerância ao processar o filosofo italiano Giordano Bruno, que fazia parte da heresia de dissidentes que se seguiu a Copérnico. A Inquisição acusou Bruno de oito heresias, mas os registros existentes não especificam quais eram. Os historiadores acham provável que Bruno tenha ofendido a

Commetariously, Cooperativo passou os trinta anos seguintes reescrevendo o seu Com-
mentariously e expandindo-o ate transformá-lo num manuscrito de duzentas
páginas. Durante esse prolongado período de pesquisas, passou muito tem-
po preocupado em relago ao modo como os outros astrovamos reagiam
ao seu modelo do universo, que era fundamentalmente contrário à sabed-
ria acética. Houve muitos dias em que ate considerou a possibilidade de aban-
donar seus planos de publicar o trabalho com medo de ser ridicularizado.
Além disso, ele suspeitava de que os teólogos seriam totalmente intolerantes
com o que consideriam uma espécie de ciência sacrilega.

Cooperativo não ficou desapontado, já que este era apenas o início de seus esforços para transformar a astronomia. Depois que seu Ió Lucas morreu, em 1512 (possivelmente envenenado), pelos Cavaleiros Teutônicos, que o descreveram como "o diabo em forma humana", ele ficou com mais tempo ainda para se dedicar aos estudos. Mudou-se para o castelo de Frauenburgo, montou um pedestal observatório e concentrou-se na tarefa de reforçar seus argumentos, acrescentando todos os detalhes matemáticos que faltavam no

O *Commençamento* era um manifesto em prol de um mundo astrológico, co, uma expressão da frustação de Copérnico e de sua desilusão com a feia complexidade do antigo modelo ptolemaico. Mais tarde, ele condenaria a natureza impovosada do modelo centrado na Terra nos seguintes termos: "É como se um artista produzisse as mãos, pés, cabegas e outros membros de suas imagens a partir de modelos diferentes, cada parte preferitamente desenhada, mas pertencente a corpos diferentes, e, como elas não correspondem umas às outras, o resultado seria um monstro e não um homem." Entretanto, apesar de seu conteúdo radical, o folheto não provocou reações entre os intelectuais europeus, em parte por ter sido lido por tão poucas pessoas, e parcialmente porque seu autor era um conego sem importância, que trabalhava nas fronteiras da Europa.

45 NO PRINCIPIO

Igreja ao escrever *Do universo infinito e seus mundos*, em que afirmava que o universo é infinito, que as estrelas têm seus próprios planetas e que a vida se desenvolve nesses planetas. Quando condenado à morte por seus crimes ele respondeu: “Possivelmente vocês, que pronunciam a minha sentença, sentem mais medo do que eu, que a recebo”. No dia 17 de fevereiro de 1600, ele foi levado para o Campo dei Fiori em Roma, despido, amarrado nu a uma estaca, amordaçado e então queimado vivo.

O medo que Copérnico tinha de ser perseguido poderia ter levado a um fim prematuro de suas pesquisas, mas felizmente um jovem estudioso alemão da cidade de Wittenberg entrou em ação. Em 1539, Georg Joachim von Lauchen, conhecido como Rético, viajou até Frauenburgo para se encontrar com Copérnico e aprender mais sobre seu modelo cosmológico. Foi um ato audacioso porque não apenas o jovem acadêmico luterano enfrentava uma recepção hesitante na católica Frauenburgo, mas seus próprios colegas não viam sua missão com bons olhos. O sentimento geral é exemplificado por Martinho Lutero, que deixou o registro de uma conversa na mesa de jantar a respeito de Copérnico: “Fala-se de um novo astrônomo que deseja provar que a Terra se move e gira no lugar do céu, do Sol e da Lua, exatamente como alguém se movendo em uma carroça ou num navio pode imaginar que está imóvel enquanto o solo e as árvores se deslocam e se movem... O tolo quer virar de cabeça para baixo toda a arte da astronomia”.

Lutero chamou Copérnico de “um tolo que vai contra a Sagrada Escritura”, mas Rético compartilhava da inabalável confiança de Copérnico de que o caminho para a verdade celestial estava na ciência e não nas escrituras. Com 66 anos de idade, Copérnico ficou lisonjeado pelo interesse do rapaz de 25 anos, que passou três anos em Frauenburgo lendo o manuscrito de Copérnico, e fornecendo-lhe apoio e comentários.

Em 1541, a combinação de diplomacia e talento astronômico de Rético foi suficiente para que ele conseguisse a aprovação de Copérnico para levar o manuscrito até a gráfica de Johannes Petreius, em Nuremberg, para ser impresso e publicado. Ele tinha planejado ficar lá para supervisionar todo o processo de impressão, mas repentinamente foi chamado a Leipzig para cuidar de um assunto urgente e assim passou a responsabilidade de supervisionar a publicação a um clérigo chamado Andreas Osiander. Finalmente, na

primavera de 1543, o *De rei das esferas celestes*) foi finalmente enviadas a Copérnico.

Nesse meio-tempo, Copérnico final de 1542 e estava na ciente para ver terminado o 1 res de seu tratado chegaram uma carta para Rético descr dias ele ficou privado de su terminado no último momen

Copérnico tinha completado um argumento convincente para Aristarco. O *De revolutionibus* minar seu conteúdo é impossível publicação. O primeiro dele é de Copérnico. A introdução menciona o papa Paulo III, o cardeal nem há nenhuma menção a F o papel vital de parteira no riadores não sabem por que dar crédito a um protestante lica a quem Copérnico quer de reconhecimento foi que F nenhuma ligação com o *De r*

O segundo mistério envolveu a acrescentado ao livro sem o que retirava a substância de sua cia o resto do livro ao afirmar ser verdadeiras ou mesmo privados no modelo centrado no Sistema matemática, cuidadosamente uma ficção. O prefácio admite as observações em um grau emasculada ao afirmar que se

○ Segundo mistério envolve o prefácio do *De revolutionibus* que foi acrescentado ao *littero* sem o consentimento de Copérnico e que efetivamente retrava a substância de suas afirmações. Em resumo, o prefácio enfatizou a restrição ao *littero* ao afirmar que as hipóteses de Copérnico "não precisam ser verdadeiras ou mesmo prováveis". Este enfatizava os "absurdos" contidos no modelo centrado no Sol, insinuando com isso que a teoria de Galileu matemática, cuidadosamente enunciada por Copérnico, não passava de uma ficção. O prefácio admite que o sistema copernicano é compatível com as observações em um grau razoável de precisão, mas deixa a teoria as obscuras ao afirmar que se trata apenas de um modo conveniente para se

Copernicco tinha completação o seu trabalho. Seu *livro* oferecia ao mundo um argumento convincente a favor do modelo centrado no Sol de Aristarcos. O *De revolutionibus* era um tratado formidável, mas antes de exa- mirar seu conteúdo é importante abordar dois mistérios que cercam sua publicação. O *Prímerio delles diz respeito aos agradecimentos incompletos de Copernicco. Aí introduzido ao *De revolutionibus* menciona várias pessoas, como o papa Paulo III, o cardeal de Capua e o bispo de Klum, e no entanto não há nenhuma menção a Retzico, o brillante aprendiz que desempenhou o papel vital de parteira no nascimento do modelo copernicano. Os histo- riadores não sabem por que seu nome foi omitido e só podem especular que dar crédito a um protestante poderia ter sido mal visto pela hierarquia cató- licica a quem Copérnico queria impressionar. Uma consequência dessa falta de reconhecimento foi que Retzico se sentiu desprezado e não quis mais ter nenhum laigo com o *De revolutionibus* depois de sua publicação.*

primavera de 1543, o *De revolutionibus orbium coelestium* (DAs revoluções celestes) foi finalmente publicado, e várias centenas de exemplares foram enviadas a Copérnico.

47 NO PRINCIPIO

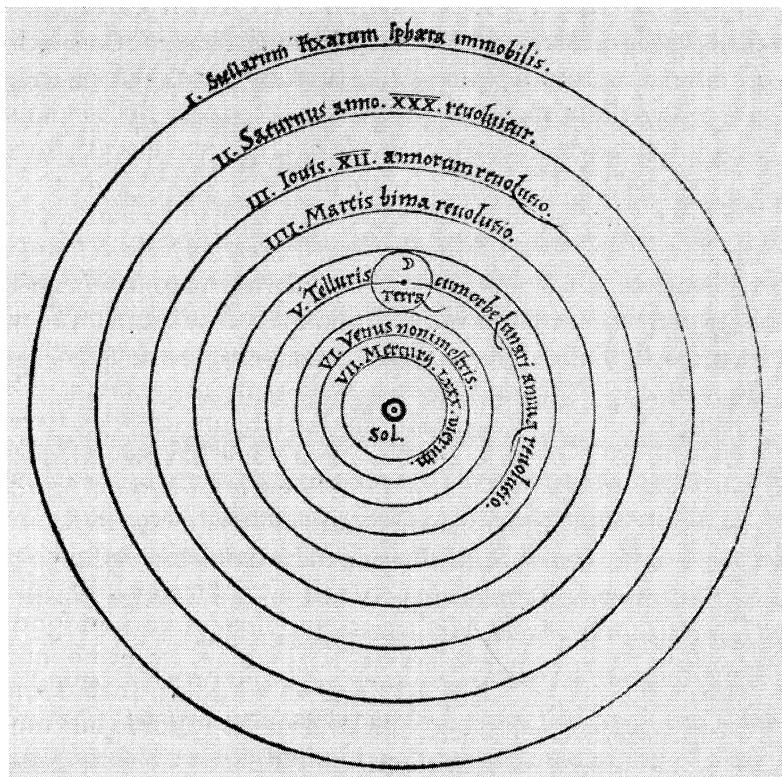


Figura 10 Este diagrama do livro *De revolutionibus*, de Copérnico, ilustra sua visão revolucionária do universo. O Sol está firmemente no eixo e é orbitado pelos planetas. A própria Terra é orbitada pela Lua e está localizada corretamente entre as órbitas de Vênus e Marte.

fazer os cálculos, e não uma tentativa de representar a realidade. O manuscrito original de Copérnico, escrito à mão, ainda existe, assim sabemos que a abertura original era bem diferente do prefácio impresso, que trivializou seu trabalho. O novo prefácio, portanto, deve ter sido inserido depois que Rético deixou Frauenburgo com o manuscrito. Isso significa que Copérnico estava em seu leito de morte quando o leu, e na ocasião o livro já tinha sido impresso e era tarde demais para fazer qualquer mudança. Talvez tenha sido a visão daquele prefácio que o mandou para o túmulo.

Assim, quem escreveu e inseriu o prefácio? O principal suspeito é Osiander, o clérigo que assumiu a responsabilidade pela publicação quando

Rético partiu de Nuremberg. Copérnico seria perseguido indica inseriu o prefácio co acalmasse os críticos. Indício contrados em uma carta par referindo-se àqueles que acr “Os aristotélicos e os teólogos de que... a presente h deira, mas porque esse é c movimentos compostos apa

Mas, em seu prefácio or de assumir uma postura des haja tolos que, embora totali capazes de emitir julgament gumas passagens das Escritur do a encontrar falhas em meu ao ponto de considerar suas

Depois de finalmente reu mais importante e controve Copérnico morreu tragicam suas teorias como sendo nad disso, o *De revolutionibus* ir primeiras décadas após sua p levaram a sério. A primeira apenas duas vezes no século vendo o modelo ptolomaico nha no mesmo período.

Contudo, o prefácio cova cialmente culpado pela falta foi o terrível estilo literário páginas de texto complexo e sobre astronomia, e o nome c acadêmicos europeus. Isso n que Copérnico agora estava r

Contudo, o prefeito covarde e conciliador de Osiander foi apena s par- clamente culpado pela falta de impacto do *De revolutionibus*. Outro fator foi o terrível estilo literário de Copérnico, que resultara em quatrocentas páginas de texto complexo e denso. Pior ainda, esse era o seu primeiro livro que Copérnico havia escrito para a Universidade de Cracóvia, que o fizeram publicar. Isto não teria sido desastoso se não fosse o fato de que Copérnico agora estava morto e não poderia promover seu trabalho. A

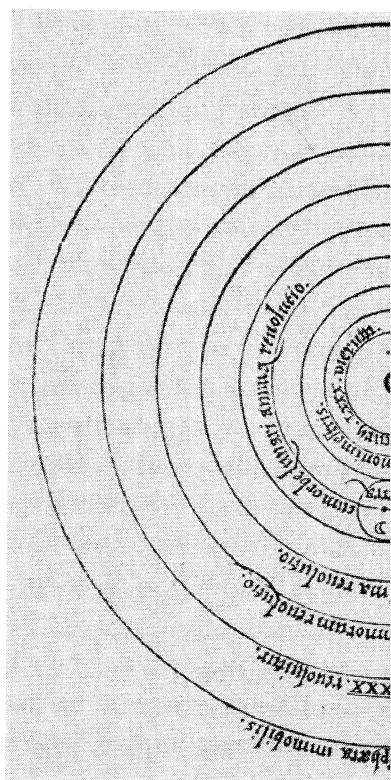
nhá no mesmo período.

Depois de finalmente reunir a coragem para publicar o desenrolvimento mais importante e controverso da astronomia desde os antigos gregos, Copérnico morreu tragicamente, sabendo que Osiander tinha apresentado suas teorias como se não nada mais do que um artifício. E, em consequência disso, o De revolutionibus tria desapareceu, quase sem deixar vestígios, nas primeiras décadas após sua publicação, já que nem o público nem a Igreja o levaram a sério. A primeira edição não esgotou, e o livro foi reimpresso apenas duas vezes no século seguinte. Em contraste com isso, livros promovendo o modelo pтолomácio formaram reimpresos centenas de vezes na Alema-

Mas, em seu prefácio original, Copérnico forá bem claro em seu desejo de assumir uma postura desafadora contra seus criticos: “É provável que haja todos que, embora totalmente ignorantes na matemática, se considerem capazes de emitir julgamentos sobre questões matemáticas, distorcendo algumas passagens das Escrituras para servirem a seus propósitos de se arrever- do a encantar faltas em meu emprenhimento a censurá-lo. Eu os desprezo ao ponto de considerar suas críticas como infundadas”.

netico partiu de Nutemberg para Leipzig. E provavel que ele acreditasse que Copérnico seria perseguido se suas ideias vissem a público, e ao que tudo indica inseriu o prefácio com a melhor das intenções, esperando que este acalmasse os críticos. Indicou das preoccupações de Osiander poderia que contrados em uma carta para Retico, na qual ele menciona os aristoteleicos, referindo-se aquelas que acreditavam na visão do mundo centrada na Terra. "Os aristoteleicos e os teólogos serão facilmente acalmados se forem informados de que... a presente hipótese não foi proposta por ser de fato verdadeira, mas por que esse é o modo mais conveniente para se calcular os

49 NO PRINCIPIO



situação poderia ter sido salva por Rético, se ele tivesse defendido e divulgado o *De revolutionibus*, mas ele se sentira esnobado e não queria mais ter seu nome associado ao sistema copernicano.

Além disso, exatamente como acontecera na corporificação original do modelo de Aristarco, o *De revolutionibus* foi desprezado porque o sistema copernicano era menos preciso do que o modelo ptolomaico centrado na Terra, quando se tratava de prever as posições futuras dos planetas: e nesse aspecto o modelo basicamente correto não era páreo para seu rival fundamentalmente errado. Há dois motivos para esse estranho resultado. Em primeiro lugar, faltava ao modelo de Copérnico um ingrediente vital, sem o qual as previsões nunca seriam precisas o bastante para ganhar a aceitação. Em segundo lugar, o modelo de Ptolomeu tinha conquistado seu grau de precisão através de manipulações de todos aqueles epiciclos, deferentes, equantes e excêntricos, e quase todo modelo falho pode ser salvo se tais fatores de manipulação forem introduzidos.

E, claro, o modelo copernicano ainda era afetado por todos os problemas que tinham levado ao abandono do modelo centrado no Sol, de Aristarco (ver tabela 2, pp. 41-42). De fato, o único atributo do modelo centrado no Sol que o tornava claramente melhor do que o centrado na Terra ainda era a sua simplicidade. Embora Copérnico tivesse brincado com epiciclos, seu modelo, em essência, empregava uma única órbita circular para cada planeta, enquanto o modelo de Ptolomeu era muito complexo com seus epiciclos, deferentes, equantes e excêntricos precisamente sintonizados para cada planeta.

Felizmente para Copérnico, a simplicidade é uma qualidade valiosa na ciência, como fora exemplificado por William de Occam, um teólogo franciscano inglês do século XIV que ficou famoso durante sua vida por defender que as ordens religiosas não deveriam ter riquezas ou propriedades. Ele defendeu seus pontos de vista com tanto fervor que foi expulso da Universidade de Oxford e teve que se mudar para Avignon, no sul da França, de onde acusou o papa João XII de heresia. Não nos surpreende que tenha sido excomungado. Depois de sucumbir à Peste Negra, de 1349, Occam ficou famoso postumamente por seu legado à ciência, conhecido como a navalha de Occam. Ele diz que, se existirem duas teorias rivais, ou explica-

ções de igual valor, a mais simples é a certa. O que Occam enunciou corretamente é que a simplicidade não deve ser p

Imagine, por exemplo, como é que uma navalha de Occam pode ser a de que dois meteoritos caídos na Terra, um deles rico em ferro e o outro em ferro-níquel, derribaram árvores que causaram a queda de uma deles. A navalha de Occam explica a queda de qualquer um deles. Se você decide que a hipótese de que os meteoritos eram ambos compostos de ferro-níquel é mais provável do que os de ferro, a navalha de Occam não garante a resposta correta. Os médicos freqüentemente diagnosticam uma doença com base na sua simplicidade, lho que diz: "Quando ouvir os roncos de zebras". Por outro lado, os teólogos de Occam, rejeitando uma teoria complexa, chegam a um raciocínio mais enigmática e

A navalha de Occam favorece a simplicidade (ou seja, a menor quantidade de teorias) em detrimento da complexidade. Se existirem duas teorias rivais, a navalha de Occam indica que a teoria mais simples é a certa. Ptolomeu era claramente mais complexo que Copérnico, e a navalha de Occam indica que Copérnico era claramente mais simples que Ptolomeu.

E, para muitas pessoas, o que é mais simples é o que é mais provável. A navalha de Occam indica que a teoria mais simples é a certa. Copérnico Sobre as revoluções celestes, o modelo centrado no Sol é mais simples que o modelo centrado na Terra.

ário, o modelo centrado no Sol era considerado também completamente Copérnico. Sobre as revoluções das esferas celestes. E, assim como revolucionar é contrária à sabedoria convencional, foi inspirada no truão de afirma que a palavra "revolucionário", quando se refere a uma ideia totalitária, é um novo significado para uma velha palavra. Uma teoria etimológica dada para ser contemplado, tanto que o trabalho de Copérnico pode ter calado muitas pessoas, o modelo centrado no Sol ainda era muito radiante.

E, para muitas pessoas, o modelo centrado no Sol era considerado irrefutável. A simplicidade do modelo centrado no Sol era considerada irrefutável, sendo que ele fazia previsões mais precisas das posições dos planetas. Assim, Ptolomaico era claramente mais forte em várias aspectos, o modelo das teorias formadas para cada planeta), mas a navalha de Copâm 96 é decisiva se as teorias formadas para cada planeta) em detrimento do Ptolomaico (um epíclio, diferente, equante e excentrico) é um modelo copérnico (um circulo por planeta) é uma qualidade valiosa na simplicidade e excentricos precisamente.

A navalha de Copâm favorecia o modelo copérnico (um circulo por circunferência mais enigmática e intrigante. De fato, o único atributo do modelo que diz: "Quando ouvir o som de cascos, pense em cavalos, não em zebras". Por outro lado, os teóricos das conspirações desprezam a navalha de Copâm, rejeitando uma explicação simples em favor de uma linha de "cascos". Os médicos frequentemente se baseiam na navalha de Copâm quando estão diagnosticando uma doença, e os estudantes de medicina recebem o conselho de que garante a respostas certas, mas geralmente aponta na direção dela. Os médicos frequentemente se baseiam na navalha de Copâm quando estão provavel do que os meteoritos gemeos, por ser a mais simples. A navalha de Copâm, vocé decide que a hipótese da tempestade é uma explicação mais que explica a falta de qualidade evidência material. Ao aplicar a navalha de para em seguida solidirrem frontalmente. A colisão das árvores cósmico, cada um deles ricocheteando depois de derrubar uma das árvores árvore formam derribadas pela tempestade. Uma hipótese mais complexa pode ser a de que dois meteoritos chegarão ao mesmo tempo do espaço contra duas árvores caídas no meio de um campo, e não existe indício óbvio de que causou a queda. A hipótese mais simples, nesse caso, é a de que as árvores de igual valor, a mais simples é a que tem mais chances de ser correta. Imagine, por exemplo, que depois de uma noite tempestuosa vocé encontra duas árvores caídas no meio de um campo, e não existe indício óbvio ("plurálidade não deve ser proposta sem necessidade").

O que Copâm enumera como plurálitas non est ponenda sine necessitate gões de igual valor, a mais simples é a que tem mais chances de ser correta.

impossível. É por isso que a palavra *köpperneksch* — baseada na forma alemã do nome Copérnico — tem sido usada, no norte da Bavária, para descrever uma proposta ilógica e inacreditável.

Em resumo, o modelo de um universo centrado no Sol era uma idéia adiante de seu tempo, muito revolucionária, muito inacreditável e ainda muito imprecisa para conseguir um amplo apoio. O *De revolutionibus* ficou repousando em algumas estantes, em alguns poucos gabinetes e foi lido por poucos astrônomos. A idéia do universo centrado no Sol fora primeiramente sugerida por Aristarco, no quinto século a.C., mas fora ignorada. Agora tinha sido reinventada por Copérnico e novamente ignorada. O modelo entrou em hibernação, esperando que alguém o ressuscitasse, examinasse, aperfeiçoasse e encontrasse o ingrediente perdido que provaria ao resto do mundo que o modelo copernicano era a verdadeira imagem da realidade. De fato, isso seria deixado para a geração seguinte de astrônomos, que encontraria as evidências para mostrar que Ptolomeu estava errado e Aristarco e Copérnico estavam certos.

O castelo dos céus

Nascido em meio à nobreza da Dinamarca, em 1546, Tycho Brahe ganharia fama duradoura entre os astrônomos por dois motivos. Primeiro, em 1566, Tycho envolveu-se em uma briga com seu primo Manderup Parsberg, possivelmente porque Parsberg o tinha insultado e zombara dele devido ao fracasso total de uma recente previsão astrológica. Tycho previra a morte de Suleiman, o Grande, e até mesmo envolvera sua profecia num poema em latim, sem saber que o líder otomano já estava morto havia seis meses. A discussão terminou num famoso duelo. Durante a luta de espada, um golpe de Parsberg cortara a testa de Tycho e dividira ao meio o seu nariz. Se o corte fosse uma polegada mais profundo, Tycho teria morrido. A partir de então, ele passou a colar no rosto um falso nariz de metal, feito tão habilmente de uma liga de cobre, prata e ouro que se confundia com o seu tom de pele.

O segundo motivo, o mais importante para a fama de Tycho, foi que ele elevou a astronomia observational a um nível inteiramente novo de preci-

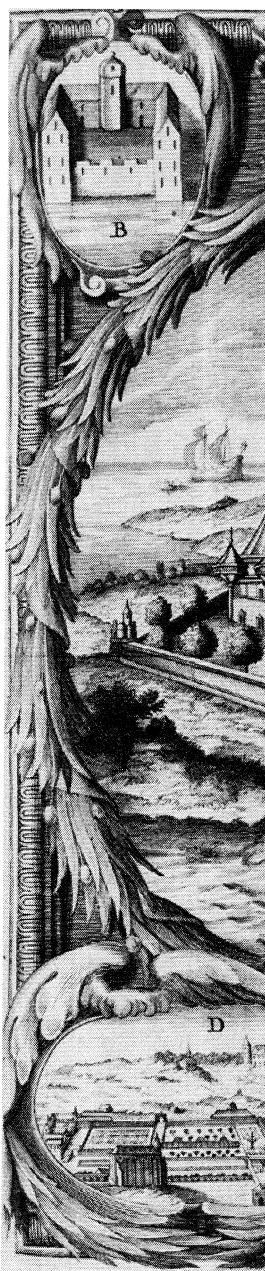
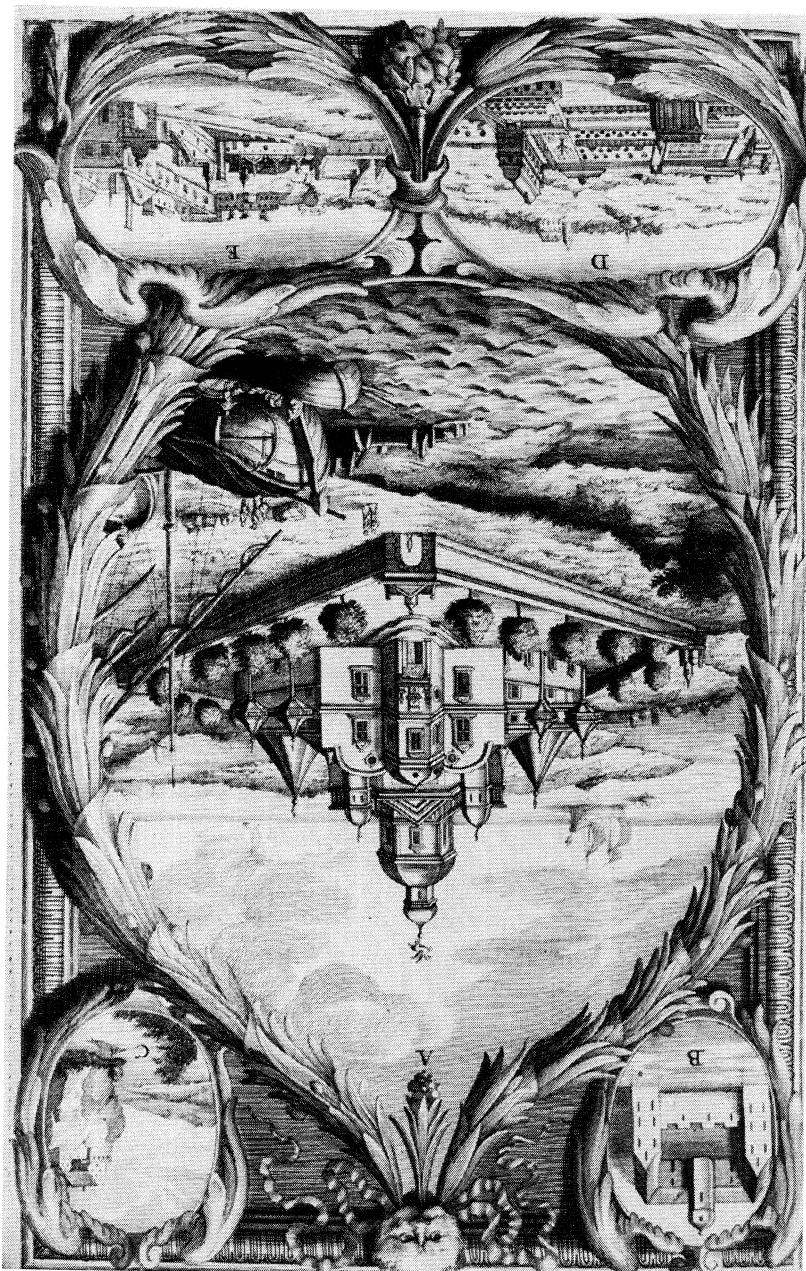


Figura 11 Uraniborg, na ilha de e mais hedonista da história.

Figura 11 Uraniborg, na ilha de Hven, o observatório astronómico mais bem financiado e mais hedonista da história.



NO PRINCIPIO 53

im nível intermediário novo de preci-
zite para a fama de Tycho, foi que ele
confundia com o seu tom de pele.
ariz de metal, feito tão habilmente de
cho terra morrido. A partir de então,
ividira ao meio o seu nariz. Se o corte
. Durante a luta de espada, um golpe
ja estava morto havia seis meses. A
olvera sua profecia num poema em
strologica. Tycho previra a morte de
ultrado e zombara dele devindo ao fra-
seu primo Manderskjöld Parsberg, possi-
por dois motivos. Primeiro, em 1566,
iacra, em 1546, Tycho Brahe ganhou a

dos céus

ue Ptolomeu estava errado e Aristarco
agão seguiu de astrónomos, que en-
ia veredadera imagem da realidade.
znte perdiu que provaria ao resto do
e algum o ressuscitasse, exameasse,
so centro do Sol fora primeiramen-
seculo a.C., mas fora ignorada. Agora
alguns poucos gabineteis e foi lido por
cionalaria, muito incrédito e aí da
mplexo apoio. O *De revolutionibus* ficou
íverso centrado no Sol era uma ideia
sada, no norte da Bavaria, para descre-
soppenrecksch — baseada na forma ale-

vel.

são. Conquistou tamanha reputação que o rei Frederico II, da Dinamarca, deu a Tycho a ilha de Hven, a dez quilômetros da costa da Dinamarca, e pagou para que ele lá construísse um observatório. Uraniborg (Castelo dos Céus) iria crescer ao longo dos anos até se transformar numa enorme cidadela decorada que consumiria mais de 5% do produto nacional bruto dinamarquês, um recorde mundial para todas as épocas no que diz respeito a financiamento de um centro de pesquisas.

Uraniborg abrigava uma biblioteca, uma fábrica de papel, uma gráfica, um laboratório de alquimia, uma fornalha e uma prisão para servos rebeldes.

As torretas de observação continham enormes instrumentos como sextantes, quadrantes e esferas armilares (todos instrumentos para observação a olho nu, já que os astrônomos ainda não tinham aprendido a explorar o potencial das lentes). Existiam quatro conjuntos de cada um dos instrumentos para medidas simultâneas e independentes, o que minimizava os erros quando se tomavam as posições angulares de estrelas e planetas. As observações de Tycho eram geralmente precisas até 1/30 de grau, cinco vezes melhores que as observações anteriores mais precisas. Talvez a precisão de Tycho fosse ajudada por sua capacidade de remover o nariz para alinhar os olhos com mais perfeição.

A reputação de Tycho era tão grande que um fluxo contínuo de personalidades visitava seu observatório. Além de estarem interessados em suas pesquisas, esses visitantes também eram atraídos pelas festas loucas de Uraniborg, que ficaram famosas em toda a Europa. Tycho fornecia bebida em excesso e entretenimento na forma de estátuas mecânicas e um anão contador de histórias chamado Jepp, que diziam ser um vidente com um dom especial. E, para aumentar o espetáculo, o alce de estimação de Tycho andava livremente pelo castelo, mas morreu tragicamente depois de cair por uma escadaria depois de um excesso de álcool. Uraniborg parecia mais o cenário de um filme do Peter Greenaway do que um instituto de pesquisa.

Embora Tycho tivesse sido educado na tradição da astronomia ptolomaica, suas observações meticulosas o forçaram a rever sua confiança na antiga visão do universo. De fato nós sabemos que ele tinha um exemplar do *De revolutionibus* em seu gabinete e que simpatizava com as idéias de Copérnico,

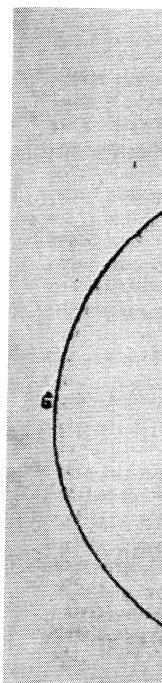


Figura 12 O modelo de Tycho centro do Universo, sendo orbiter que os planetas (e o cometum *mundi aetherei*, de Tycho.

mas, em lugar de adotá-las universo, que, sem correr Copérnico. Em 1588, quas Tycho publicou *De mundi dos novos fenômenos no 1 planetas orbitavam o Sol,*

planetas orbitavam o Sol, mas o Sol orbitava a Terra, como mostrado na dos novos fenômenos no mundo eterno", no qual afirmava que todos os Tycho publicou *De mundi aetherei recentioribus phænomenis* ("A respeito Copérnico. Em 1588, disse cinduentes a nos deposis da morte de Copérnico, mas, em lugar de adotá-las, ele preferiu desenvolver seu próprio modelo do universo, que, sem correr riscos, ficava a meio caminho entre Ptolomeu e

Figura 12 O modelo de Tycho comete o mesmo erro de Ptolomeu e coloca a Terra no centro do Universo, sendo orbitada pela Lua e pelo Sol. Seu princípio avançado foi prece-
ber que os planetas (e o cometa Flamíngio) orbitam o Sol. Esta ilustração é do livro *De mundi aetherei*, de Tycho.

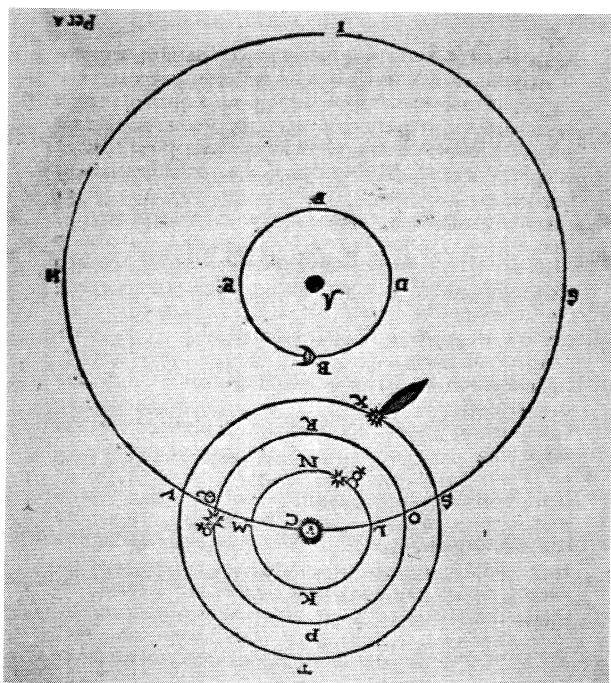


figura 12. Seu liberalismo ia ao ponto de permitir que o Sol fosse o eixo do sistema de planetas, mas seu conservadorismo o obrigava a reter a Terra no centro do universo. Ele estava relutante em deslocar a Terra porque sua suposta centralidade era o único meio de explicar por que os objetos caem em direção ao centro da Terra.

Antes que Tycho pudesse prosseguir para o estágio seguinte de seu programa de observações astronômicas e teorização, suas pesquisas sofreram um severo golpe. Seu patrono, o rei Frederico, morreu depois de uma bebedeira no mesmo ano em que Tycho publicou *De mundi aetherei* e o novo rei, Cristiano IV, não estava mais disposto a financiar o extravagante observatório de Tycho ou a tolerar seu estilo de vida hedônico. Tycho não teve outra opção senão abandonar Uraniborg e deixar a Dinamarca com sua família, seus assistentes, o anão Jepp e carroças cheias de instrumentos astronômicos. Felizmente, os instrumentos de Tycho tinham sido projetados para serem transportáveis, porque ele percebera astutamente que “um astrônomo deve ser cosmopolita, já que não se pode esperar que os governantes ignorantes valorizem seus serviços”.

Tycho Brahe emigrou para Praga, onde o imperador Rodolfo II o nomeou matemático imperial e permitiu que estabelecesse um novo observatório no Castelo Benatky. A mudança acabou tendo um significado especial, porque foi em Praga que Tycho se associou a um novo assistente, Johannes Kepler, que chegaria à cidade alguns meses depois. O luterano Kepler tinha sido forçado a fugir de seu antigo lar em Graz, quando o arquiduque Ferdinando, um católico fervoroso, ameaçou executá-lo, de acordo com seu discurso de que preferiria “transformar o país num deserto a governar hereges”.

E assim Kepler partiu em sua jornada para Praga no dia 1º de janeiro de 1600. O início do novo século marcaria o começo de uma colaboração que levaria à reinvenção do universo. Juntos, Tycho e Kepler formavam uma dupla perfeita. O avanço científico exige tanto a observação como a teoria. Tycho tinha acumulado a melhor coleção de observações da história da astronomia e Kepler se mostraria um excelente intérprete dessas observações. Embora Kepler sofresse de miopia e de visão múltipla desde o nascimento, ele acabaria por enxergar mais longe do que Tycho.

Foi uma parceria formada de Kepler, Tycho foi a bebeu com o excesso costi xar a mesa antes do barão sentia a tensão em sua be Quando chegou em casa, i a ter febre e alternar entr depois estava morto.

Em seu leito de morte, tenha vivido em vão”. Não ria que as observações me possível que a morte de Ty porque, enquanto estava v anotações e nunca partilha car uma obra-prima sozinh parceiro igual — afinal, e mero camponês. E, no ent gar um significado mais pr queria as habilidades de ur

Kepler nascera em uma tornos provocados pela gue que fora exilada após acusa sasse a infância e juventud estima. Em seu próprio h pessoa, ele se descreve com

Ele gosta de roer ossos e c põe seus olhos ele agarra, e se contenta com a comida : outros, depende dos outro quando eles o repreendem graças... Como um cachor descuido não conhece limi em quadratura com Mercú

em quadratura com Mercúrio e em trânsito com aLua.
desciido não consegue limites, o que se deve certamente a posse de Marte
grogas... Como um cachorro ele tem horror a banhos, tinturas e logões. Seu
quadro elas o repreendem e esta sempre ansioso para cair de novo em suas
outras, dependentes dos outros para tudo, faz suas vontades, nunca fica zangado
se contente com a comédia mais simples... Continuamente busca os favores de
pôe seus olhos ele agarra, e, no entanto, como um cachorro ele bebe pouco e
Ele gosta de roer ossos e cascas secas de pão e é ao varz que tudo em que

passava, ele se descreve como um cachorrinho:
Estima. Em seu proprio horóscopo autodepreciativo, escrito na tereira
sasse a infância e juventude com hipocrisia e ingênuo, com pouca auto-
que fora exilada após acusações de bruxaria. Não é surpreendente que pas-
tou os provocados pela guerra, lutas religiosas, um paizinho de uma mãe
Kepler nascerá em uma família pobre que luta para sobreviver aos trans-
queria as habilidades de um matemático treinado como Kepler.

que um significado mais profundo em suas proprias observações, o que re-
mico camponês. E, no entanto, estava allem da capacidade de Kepler como um
parceiro igual — final, ele era um aristocrata dinamarquês e Kepler como um
car uma obra-prima sozinho. Tycho nunca cogitou adotar Kepler como publi-
anotações e nunca partilhava suas observações, sonhando sempre em publi-
pordue, enquanto estava vivo, ele guardava cuidadosamente suas lições de
possível que a morte de Tycho fosse necessária para seu trabalho florescer
ria que as observações meticolosas de Tycho dessem frutos. De fato é bem
tinha vivido em vão". Não havia motivo para temer por que Kepler garantir-
Em seu leito de morte, Tycho repetiu várias vezes a frase: "Que eu não

depois estava morto.
a ter febre e alternar entre períodos de inconsciência e delírio. Dez dias
Quando chegou em casa, mal conseguia urinar". Nada mais notou ele passou
sentia a tensão em sua bexiga, mas colocou a educação acima da saúde.
xar a mesa antes do barro. Kepler escreveu: "Quanto mais ele bebia, mais
bebou com o excesso costumeiro, recusando-se a quebrar a étiqueta e dei-
da de Kepler, Tycho foi um jantar oferecido pelo barão de Rosenberge e
Foi uma parceria formada bem a tempo. Alguns meses depois da chega-

do que Tycho.
de visão multípla desde o nascimento,
excelente intérprete dessas observações.
érgao de observação como a teoria.
tia o começo de uma colaboração que
da Praça no dia 1º de Janeiro de

rum o país num deserto a governar
mecanou executá-lo, de acordo com seu
lar em Graz, quando o arquiduque
meses depois. O luterano Kepler tinha
socion a um novo assisente, Johann
acabou tendo um significado especial,
que estabeleceu um novo observato-
, onde o imperador Rodolfo II o no-

pode esperar que os governantes igno-
bera astutamente que "um astrônomo
Tycho tinha sido projetado para se-
gas cheias de instrumentos astronômi-
deixar a Dinamarca com sua família,
le vida hedônica. Tycho não teve outra
o a financeira o extravagante observato-
blico "De mundi aetherei" e o novo rei,
zredérico, morreu depois de uma bebe-
e teorizá-lo, suas pesquisas sofreram
tante em deslocar a Terra por que sua
adorismo o obrigava a retar a Terra no
o de permitir que o Sol fosse o eixo do

NO PRÍNCIPIO 57

A paixão pela astronomia parece ter sido sua única pausa na autodepreciação. Com a idade de 25 anos, Kepler escreveu o *Mysterium cosmographicum*, o primeiro livro a defender o *De revolutionibus*. A partir daí convenceu-se da veracidade do modelo centrado no Sol e dedicou-se a descobrir o motivo de sua imprecisão. O maior erro estava na previsão da órbita de Marte, um problema que tinha atormentado o assistente de Copérnico, Rético. De acordo com Kepler, Rético ficara tão frustrado com sua incapacidade de resolver o problema de Marte que “apelou, como último recurso, ao seu anjo de guarda, consultando-o como um oráculo. O espírito indelicado agarrou Rético pelos cabelos e alternadamente bateu com sua cabeça no teto e o deixou cair para bater no chão”.

Por fim, tendo acesso às observações de Tycho, Kepler achava que poderia resolver o problema de Marte e remover as imprecisões do modelo centrado no Sol em apenas oito dias. Na verdade, levou oito anos. Vale a pena enfatizar a quantidade de tempo que Kepler passou aperfeiçoando o modelo centrado no Sol: oito anos! Porque o resumo a seguir pode facilmente subestimar sua imensa realização. A solução de Kepler foi o resultado de cálculos árduos e tortuosos que ocuparam novecentas páginas.

Kepler fez sua grande descoberta ao abandonar um dos antigos dogmas, o de que os planetas se moviam em trajetórias que eram círculos ou combinações de círculos. Até mesmo Copérnico tinha se agarrado lealmente a esse dogma circular, e Kepler mostrou que esta era uma das suposições erradas de Copérnico. De fato Kepler afirmou que seu predecessor tinha falhado ao presumir três coisas:

1. Os planetas se movem em círculos perfeitos
2. Os planetas se movem com velocidades constantes
3. O Sol encontra-se no centro dessas órbitas

Embora Copérnico estivesse certo ao declarar que os planetas orbitam o Sol e não a Terra, sua crença nos três pressupostos falsos sabotou suas esperanças de prever os movimentos de Marte e dos outros planetas com um alto grau de precisão. Contudo Kepler teria sucesso onde Copérnico falhara porque ele descartou esses pressupostos, por acreditar que a verdade só pode

vir à tona quando toda a dos de lado. Ele abriu o como ponto de apoio e Gradualmente, um mode certeza as novas equações ma Solar tomou forma, trou que

1. Os planetas se movem
2. A velocidade dos pla
3. O sol não é exatame

Quando percebeu que ti rias, Kepler gritou: “Oh mentos”.

De fato a segunda e surgem da primeira, que guia rápido sobre as elip que isso acontece. Um n daço de barbante sobre u usar um lápis para estic mantendo o barbante est loque o lápis do outro la metade da elipse será tra os pregos estão fixos, ass junto de pontos cuja dis específico.

As posições ocupadas trajetórias elípticas segu num dos focos e não n ocasiões em que um pla como se o planeta tivesse fará o planeta aumentar a velocidade ao se afastar d

As posições ocupadas pelos preços são chamadas de focos da elipse. As trajetórias elípticas seguidas pelos planetas são de tal forma que o Sol fica num dos focos e não no centro das órbitas planetárias. Portanto, haverá ocasiões em que um planeta estará mais perto do Sol do que em outras, como se o planeta tivesse caído em direção ao Sol. Esse processo de queda fará o planeta aumentar a velocidade e, de modo oposto, o planeta perderá velocidade ao se afastar do Sol.

Quando percebeu que tinha a solução para o mistério das órbitas planetárias, Kepler gritou: "Oh Deus, Todo-poderoso, estou pensando Teus pensa-"

1. Os planetas se movem em elipses, não em círculos perfeitos.
2. A velocidade dos planetas varia constantemente.
3. O sol não é exatamente o centro dessas órbitas.

vir a tona quando toda a ideologia, os preconceitos e os dogmas sao deixados de lado. Ele abriu os olhos e a mente, usou as observacoes de Tycho como ponto de apoio e elaborou seu modelo a partir dos dados de Tycho. Gradualmente, um modelo imparcial de Universo comegou a surgir. E com certeza as novas equacoes de Kepler correspondiam as observacoes e o Sistema Solar tomou forma, afinal. Kepler expôs os erros de Copérnico e mostrou que

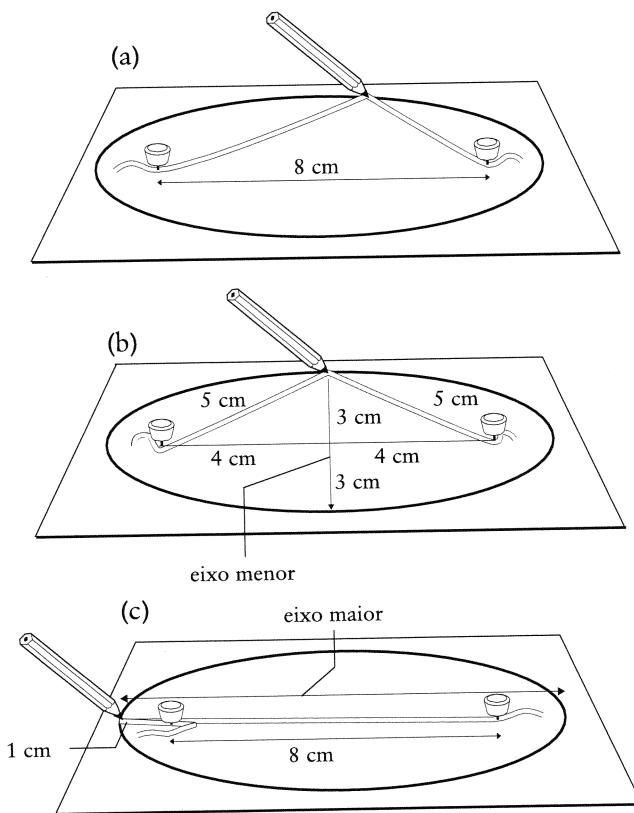


Figura 13 Uma maneira simples de desenhar uma elipse é usar um pedaço de barbante preso a dois pinos, como mostrado no diagrama (a). Se os pinos estiverem separados por 8 cm e o barbante tiver 10 cm de comprimento, cada ponto da elipse terá uma distância somada de 10 cm em relação aos dois pinos. Por exemplo, no diagrama (b), o barbante de 10 cm forma dois lados de um triângulo, ambos com 5 cm de comprimento. De acordo com o teorema de Pitágoras, a distância do centro da elipse até o topo deve ser de 3 cm. Isso significa que a altura total (ou *eixo menor*) da elipse é de 6 cm. No diagrama (c), o barbante de 10 cm é puxado para um lado, o que indica que a largura total (ou *eixo maior*) da elipse é 10 cm, porque são 8 cm de pino a pino mais 1 cm em ambas as extremidades.

A elipse é bem achatada porque o eixo menor mede 6 cm comparado com o eixo maior de 10 cm. Se os dois pinos se aproximarem, os eixos maior e menor da elipse tornam-se mais parecidos e a elipse fica menos achatada. Se os pinos se encontrarem num único ponto, então o barbante formará um raio constante de 5 cm e a forma resultante será um círculo.

Kepler mostrou que, elíptica em torno do Sol, uma linha imaginária, ligando os tempos iguais. Essa declaração é importante, porque define a velocidade ao longo de sua órbita, com velocidades planetárias constantes.

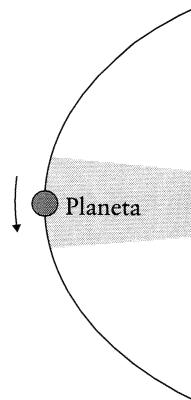
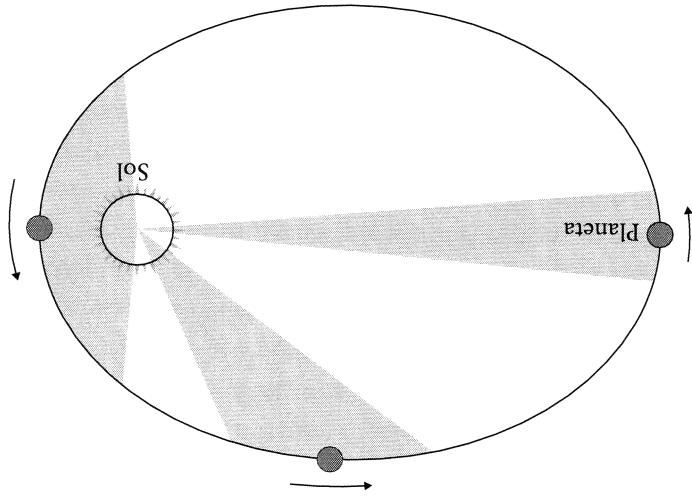


Figura 14 O diagrama mostra a órbita elíptica de um planeta ao redor do Sol. A órbita elíptica vale, aproximadamente, a órbita planetária do Sistema Solar é semelhante, o foco ocupado levemente descentralizado pelo Sol, o raio vetorial é muito mais curto, mas compreende mais da circunferência da elipse. A consequência do aumento da velocidade é que o raio vetorial é curto, mas compreende mais da circunferência da elipse. Os três setores sombreados têm a mesma área, o que indica que o tempo gasto para percorrer a órbita é constante.

Figure 14. Q-disease message from the Q-disease module.



Kepler mostrou que, a medida que um planeta segue a sua trajetória elíptica em torno do Sol, acelerando e desacelerando ao longo do caminho, uma linha imaginária, ligando o planeta ao Sol, vai varrer áreas iguais em tempos iguais. Essa declaração é chamada de lei de Kepler. A figura 14 é a impor-tante, por que define precisamente como a velocidade do planeta muda ao longo de sua órbita, contrariando a crença de Copérnico em velocidades planete-riais constantes.

A geometria da elipse vinha sendo estudada desde o tempo dos antigos gregos, então por que ninguém antes sugeriu elipses como a forma das órbitas planetárias? Um motivo, como já vimos, foi a crença persistente na perfeição sagrada dos círculos, que parecia cegar os astrônomos para todas as outras possibilidades. Mas outro motivo é que a maioria das elipses planetárias são apenas levemente elípticas, de modo que parecem circulares, a menos que se faça um exame minucioso. Por exemplo, o comprimento do eixo menor dividido pelo comprimento do eixo maior (ver figura 13) é uma boa indicação de como uma elipse está próxima de um círculo. A proporção é igual a 1,0 para um círculo, e, no caso da Terra, essa proporção é de 0,99986. Marte, o planeta que fez Rético ter pesadelos, é problemático porque sua órbita é mais achatada, mas a proporção entre os dois eixos ainda é muito próxima de 1, valendo 0,99566. Em resumo, a órbita marciana era apenas levemente elíptica, de modo a levar os astrônomos a acreditarem que era circular, mas era elíptica o suficiente para criar problemas reais a qualquer um que tentasse moldá-la em termos de círculos.

As elipses de Kepler forneceram uma visão completa e precisa do nosso Sistema Solar. Suas conclusões foram um triunfo para a ciência e para o método científico, o resultado da combinação de observação, teoria e matemática. Ele publicou sua conquista, pela primeira vez, em 1609, num enorme tratado intitulado *Astronomia nova*, que detalhava oito anos de trabalho meticuloso, incluindo numerosas linhas de investigação que levaram apenas a becos sem saída. Kepler pedia ao leitor para sentir-se em seu lugar: “se ficares entediado com este cansativo método de cálculo, tenha pena de mim que tive que repeti-lo pelo menos setenta vezes, perdendo muito tempo”.

O modelo de Kepler para o Sistema Solar era simples, elegante e indubitavelmente preciso em termos de prever as trajetórias dos planetas, e no entanto poucos acreditaram que representasse a realidade. A grande maioria dos filósofos, astrônomos e líderes da Igreja aceitou que aquele era um bom modelo para fazer cálculos, mas continuou firme na crença de que a Terra era o centro do Universo. Sua preferência pelo modelo centrado na Terra era baseada, em grande parte, no fracasso de Kepler em abordar algumas das questões da tabela 2 (pp. 41-42), tais como a gravidade. Como pode

a Terra e os outros planetas quando tudo o que vemos a

Também a confiança de culos, era considerada risível disse o seguinte em uma ca circularidade e a uniformida mais absurdo quanto mais p ao menos preservar a órbita com outro pequeno epíclo ser construída de círculos e

Desapontado com a po partiu para aplicar suas ha curioso em relação ao mun ração científica quando esc sítio os pássaros cantam, po para cantar. E do mesmo n mente humana se dá ao tra dade de fenômenos da natu tão ricos precisamente para mento”.

Além da pesquisa nas ó trabalhos de diversas naturez que os planetas ressoavam co a velocidade de cada planeta mi, fá, sol, lá, si). A Terra ei latina *fames*, significando “fc tureza do nosso planeta. Un *Somnium*, um dos precurso atá a Lua de um grupo de av *mia nova*, Kepler escreveu “Sobre o floco de neve de sei dos flocos de neve e apresent

“Sobre o floco de neve de Johannes Matthaeus Wackhe

“Sobre o floco de neve de seis verticais” foi dedicado ao patrono de Kepler, Johannes Matthaeus Wacker von Wackenfels, que também deu a Kepler a

Além da pesquisas nas órbitas planetárias elípticas, Kepler se dedicou a trabalhos de diversas naturezas. Erradicamente ele reviu a teoria pitagórica de que os planetas ressoavam com "a música das esferas". De acordo com Kepler, a velocidade de cada planeta gerava notáveis particulares (por exemplo, do, re, mi, fa, sol, lá, si). A Terra emitia as notáveis fa e mi, que produziam a palavraria latina *names*, significando "fome", aparentemente indicando a verdadeira natureza do nosso planeta. Um uso melhor para o seu tempo foi a autoria de *Somnium*, um dos precursores do gênero ficção científica, contando a viagem de uma Lua de um grupo de aventureiros. É um par de anos depois da *Astronomia nova*, Kepler escreveu um de seus trabalhos científicos mais originais, "Sobre o fôlaco de neve de seis vértices", no qual ele meditava sobre a simetria dos flocos de neve e apresentava uma visão atomística da matéria.

Também a constância de Keppler em elipses, contraria a doutrina dos círculos, era considerada risível. O célebre astrônomo holandês David Fabricius disse o seguinte em uma carta para Keppler: "Com suas elipses, aboliste a circunferência e a uniformidade dos movimentos, o que me parece cada vez mais absurdo quanto mais profundamente eu penso a respeito... se pudesse com outro pedaço de epicílio, seria muito melhor". Mas uma elipse não pode ser construída de circulos e epicílios, assim, uma conciliação era impossível. Desapontado com a pobre recepção dada a *Astronomia nova*, Keppler curioso em relâmpago ao mundo ao seu redor, e justificou sua continuação exploração científica quando escreveu: "Nós não perguntemos para que propõe a mente humana se é ao trabalho de sonhar os segredos do céu... A diversidade de fenômenos da natureza é tão grande e os tesouros ocultos nos céus da de fato precisamente para que a mente humana nunca carrega de seu ali-

a Terra e os outros planetas serem mantidos em órbita em torno do Sol quando tudo o que vemos ao nosso redor é arrido para a Terra?